

Ascertaining typ list for liquid sample examintion - using imaging pick=up and localising appts. for recognising and locating obj ct within regist red image data to enable automatic output from identifying appts.

Patent Number: DE4211904

Publication date: 1992-11-19

Inventor(s): MAIER WERNER (DE); VOLK CHRISTIAN (DE)

Applicant(s): MAIER WERNER (DE); VOLK CHRISTIAN (DE)

Requested Patent: DE4211904

Application Number: DE19924211904 19920409

Priority Number(s): DE19924211904 19920409; DE19914111472 19910409

IPC Classification: G01N15/10; G01N33/48; G01N35/00

EC Classification: G01N33/18, G01N33/18F1

Equivalents:

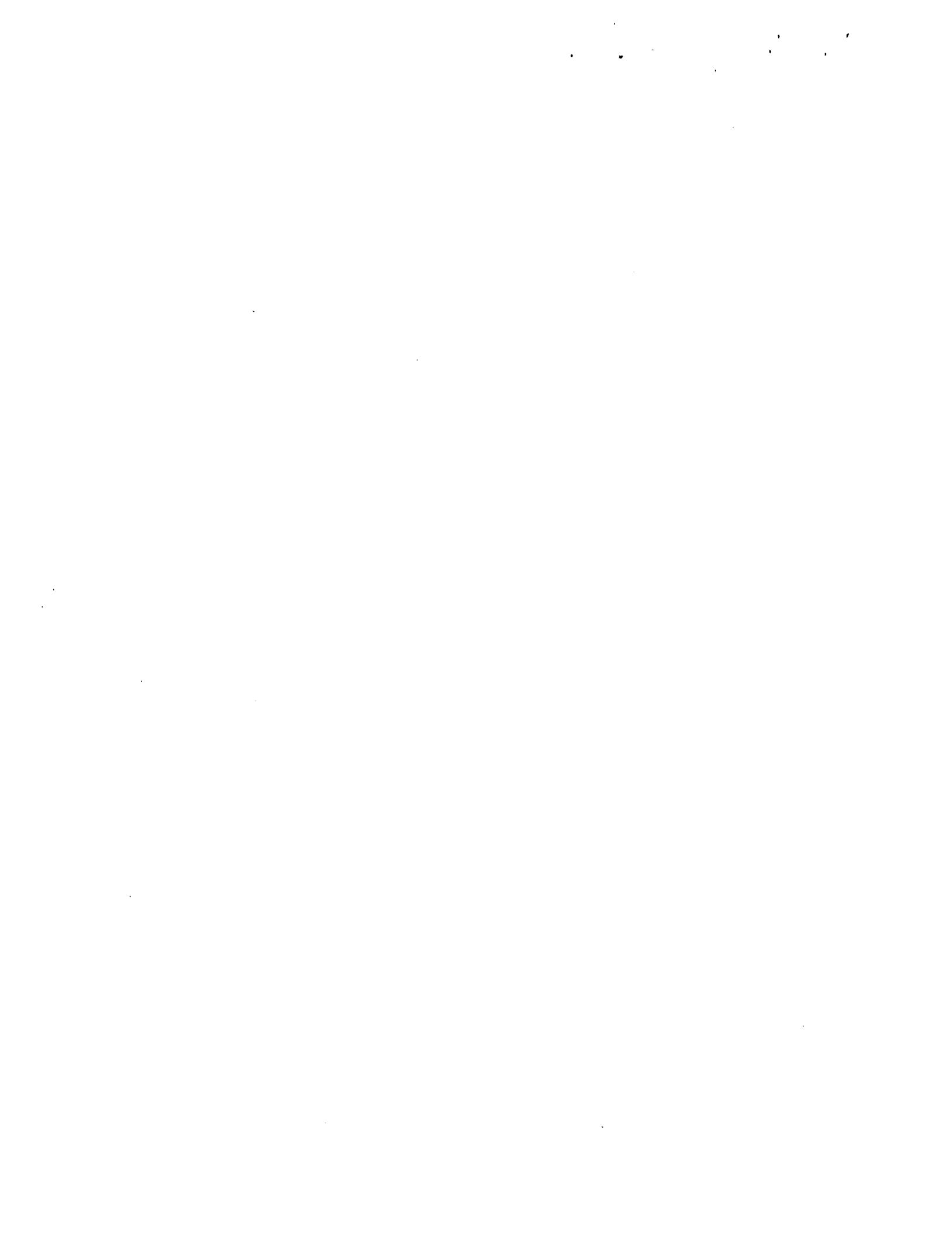
Abstract

The method includes optical detection of the sample (13) as a result of image data; identification and location of the objects (14) in the detected image data; and the automatic identifying of the located objects (14) by the automatic comparison of the respective located object, with a determined group of reference objects. The reference objects are selected from a large group of reference objects on the basis of the coarse characteristics of the located objects (14), obtained from the image data.

The identified objects (14) are counted according to the respective types; and the counted objects (14) are entered in the type list (48). The system for carrying out the method includes a camera type system (16), a locating unit (40), an identifying unit (44) and a counter (46).

USE/ADVANTAGE - Ecosystem investigations. Subjective analysis is excluded. Automatic identification and analysis of specimens including bacteria from 1 micron size. Cluster of objects can be examined with background taken into consideration.

Data supplied from the esp@cenet database - I2





(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND
(21) (12) Offenlegungsschrift
(22) (10) DE 42 11 904 A 1
(23)
(24) Int. Cl. 5:
(25) G 01 N 33/48
(26) G 01 N 15/10
(27) G 01 N 35/00



DEUTSCHES
PATENTAMT

(28)
DE 42 11 904 A 1

(30) Innere Priorität: (32) (33) (31)

09.04.91 DE 41 11 472.8

(71) Anmelder:

Maier, Werner; Volk, Christian, 7000 Stuttgart, DE

(74) Vertreter:

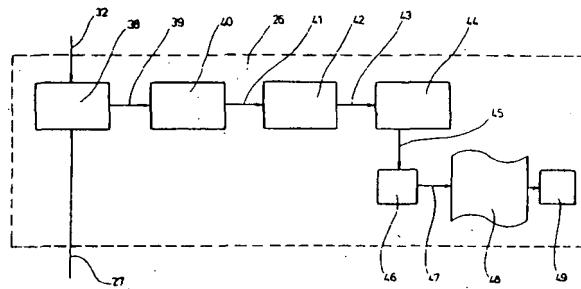
Witte, A., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Weller, W., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat.; Gahlert, S., Dipl.-Wirtsch.-Ing.Dr.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste für eine flüssige Probe

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste (48) für eine flüssige Probe mit ggf. form- und/oder ortsveränderlichen Objekten unterschiedlicher Arten zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe. Die Vorrichtung weist eine Bildaufnahmeverrichtung zum optischen Erfassen der Probe als Folge von Bilddaten auf. Ferner ist eine Lokalisierenrichtung (40) zum Erkennen und Lokalisieren der Objekte in den erfaßten Bilddaten sowie eine Identifizierungseinrichtung (44) vorgesehen, die zum automatischen Identifizieren der lokalisierten Objekte dient. Die Vorrichtung weist weiterhin eine Zähleinrichtung (46) zum Zählen der identifizierten Objekte nach der jeweiligen Art sowie zum Eintragen der gezählten Objekte in die Artenliste (48) auf (Fig. 2). Die Identifizierungseinrichtung umfaßt dabei eine Sucheinrichtung, die die lokalisierten Objekte mit einer Gruppe von Referenzobjekten vergleicht, die sich aufgrund von aus den Bilddaten gewonnenen Grobmerkmalen des lokalisierten Objektes aus einer größeren Gruppe von Referenzobjekten ergeben.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste für eine flüssige Probe mit ggf. form- und/oder ortsveränderlichen sich z. T. gegenseitig überdeckenden und überlappenden Objekten unterschiedlicher Arten zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe.

Ein derartiges allerdings manuelles Verfahren ist aus der Praxis bekannt. Es dient zur Untersuchung von belebten Schlammten u.ä. Biomassen, zur Bestimmung von Gewässergüten und/oder zur Überwachung biologischer Abwasserreinigungssysteme. Zu diesem Zweck wird das Ökosystem "belebter Schlamm" untersucht, das einen definierten Raum mit generell gleichen Eigenschaften darstellt, der in den Lebensraum, das nicht lebende Biotop, und in die Artengemeinschaften oder die Lebensgemeinschaft, die Biozönose zerfällt.

Die Biozönose setzt sich aus unterschiedlichen Arten zusammen, die sehr verschiedene Objektdichten aufweisen. Darüberhinaus reicht die Größe der Objekte, zu denen Algen, Pilze, Protozoen und Metazoen zählen, von 1µm (Bakterien) bis zu mehreren mm (Kleinstlebewesen). Pro Probe finden sich bis 100 und mehr Objektarten und je Art von einem Objekt bis zu mehreren tausend Objekten.

Weiterhin finden sich in der Probe nicht nur lebende Objekte, sondern auch sonstige Partikel, wie Flocken, Fasern, Haare etc.

Mit "Art" oder "Arten" werden im folgenden Text sämtliche Objekte des Ökosystems bezeichnet, also beispielsweise sowohl Organismen als auch Flocken, Haare etc.

Zweck der Untersuchung ist es, Aussagen über Vorgeschichte, Zustand und wahrscheinliche Weiterentwicklung des Ökosystems machen zu können. Weiterhin geht es um die Überwachung des Betriebsablaufes und um einen "Gesundheitscheck" des Ökosystems eines biologischen Abwasserreinigungssystems. Die im Rahmen der Untersuchung gewonnenen Aussagen werden genutzt, um die betriebstechnischen und die chemisch-physikalischen Daten der Anlage zu bestätigen und/oder zu ergänzen bzw. im Falle eines Störfalles gezielt weitere Untersuchungen zu veranlassen. Die Daten werden weiterhin zu einer Langzeituntersuchung der Biozönose der jeweiligen Anlage verwendet.

Im Rahmen dieser Untersuchungen ist es erforderlich, eine Artenliste sämtlicher Objekte in einer Probe (z. B. 50 µl) zu erstellen und auszuwerten. Das Erstellen der Artenliste wird zur Zeit von Personal mit unterschiedlicher Vorbildung vorgenommen, das dazu ein Mikroskop und ggf. eine CCD-Kamera mit Videorekorder zur Dokumentation der untersuchten Proben verwenden.

Die Einordnung der unterschiedlichen Objekte in die verschiedenen Objektklassen oder Arten ist größtenteils Wissens- und Erfahrungssache, wobei die dabei verwendeten Methoden je nach dem Erfahrungsstand des mit der Untersuchung Beauftragten sehr unterschiedlich sind. Naturgemäß ist auf diese Weise nur eine sehr unvollständige Datenerfassung möglich, die lediglich ein Teil der zu untersuchenden Biomasse repräsentiert.

Die auf diese Weise erstellte Artenliste wird für eine Fortschreibung der Langzeitüberwachung (Populationswachstum der einzelnen Arten; Flockenbildung und -alter; Komplexität der Biozönose; Sauerstoffgehalt anhand von Indikatororganismen; Saprobiens-Stufen als Index für die Wassergüte) in einen Computer

eingeegeben und zur Erkennung von periodischen Prozessen schon im frühen Stadium verwendet. Weiterhin führt der Computer eine Modellerstellung der Biozönose durch, um die spezifischen Abhängigkeiten zwischen den Arten zu bestimmen und um so zwischen normalen/üblichen Veränderungen der Biozönose einerseits und von außen hervorgerufenen Abweichungen andererseits unterscheiden zu können.

Mit dem insoweit beschriebenen Untersuchungsverfahren werden nicht nur Kläranlagen überprüft, auch natürliche Ökosysteme wie Seen, Flüsse, Meere etc. werden damit untersucht/überwacht.

Das vom Menschen durchzuführende Erstellen der Artenliste bedingt nicht nur den limitierenden Zeitfaktor sondern auch eine unerwünscht hohe Fehlerrate. Darüberhinaus ist die auf diese Weise gewonnene Datensetzung für einen umfassenden Überblick über den Zustand des jeweils untersuchten Ökosystems oft viel zu gering.

Lediglich der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, daß eine umfassende chemische Analyse von Belebtschlamm zwar möglich ist, aber noch länger dauert als die eingangs beschriebene Bestimmung unter Heranziehung einer vom Menschen erstellten Artenliste.

Nun ist es zwar bekannt, Fluoreszenzmikroskope mit Kamerasystemen zu verwenden, die Proben sind hier jedoch fast ausschließlich zweidimensional und trocken. Flüssige Proben mit bewegten Objekten können mit solchen, insbesondere in Forschungslaboren zu findenden Systemen, nicht untersucht werden.

Weiterhin ist es bekannt, auf einem Förderband transportierte Gegenstände, wie z. B. Schrauben etc. mit Hilfe eines Handhabungsroboters zu sortieren, wobei der Roboter über ein Bildverarbeitungssystem angesteuert wird. Das Bildverarbeitungssystem sucht nach gewünschten (fehlerfreien) Objekten, die der Roboter in entsprechende vorgegebene Kästen transportiert. Hier hat der Rechner also eine Wiederfindungserwartung bezüglich der zu sortierenden Objekte, d. h. es ist lediglich eine Ja/Nein-Entscheidung zu treffen, ob das Objekt mit einem im Rechner gespeicherten Referenzobjekt übereinstimmt. Ein derartiges Bildverarbeitungssystem sucht also nach gewünschten Objekten, während es im Falle der Erstellung der Artenliste um ein Identifizieren unbekannter Objekte geht, deren Lage im Raum beliebig sein kann.

Darüberhinaus können die Objekte in den zu untersuchenden flüssigen Proben auch als Clusterobjekte auftreten. Unter Clusterobjekten werden hier mehrere zusammenhängende Objekte verstanden, z. B. können sich an einer Flocke mehrere Mikroorganismen anheften, so daß ein Clusterobjekt entsteht, das aus unbelebten und belebten Objekten ggf. verschiedener Arten besteht. Die Objekte eines derartigen Clusterobjektes können sich darüberhinaus gegenseitig bedecken bzw. überlappen vorliegen oder gar miteinander verflochten sein, so daß zunächst eine Trennung des Clusterobjektes in die einzelnen Objekte erforderlich ist. Wie bereits erwähnt, bewegen sich einige der Objekte in der Probe, d. h. die Objekte sind ggf. orts- und formveränderlich. Eine Objektart ist darüberhinaus in verschiedenen Entwicklungsstufen anzutreffen, also in verschiedenen Größen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß zwischen den Abmaßen der kleinsten und der größten Objekte nahezu vier Größenordnungen liegen können.

Wegen der hohen Formverschiedenheit der lebenden Objekte können bei dem angestrebten Verfahren nicht alle möglichen Erscheinungsformen in einer Art Refe-

renzdatenbank gespeichert werden, da deren Zahl astronomisch hoch ist.

Mit den bekannten Verfahren und Systemen der Bildverarbeitung ist damit das Erstellen der Artenliste bisher nicht möglich.

Aus der EP-B-00 73 140 sind ein derartiges Verfahren und eine derartige Vorrichtung zur zweidimensionalen Untersuchung von Vorlagemasken für die Erstellung von Halbleiterbauteilen bekannt. Die zu untersuchende Maske wird auf einen X/Y-Kreuztisch gelegt und im Durchlichtverfahren kontrastiert. Eine CCD-Kamera nimmt ein Bild dieser Maske auf und leitet es einer Signalverarbeitungseinrichtung zur Erzeugung von Bildmusterdaten zu.

Die Vorrichtung weist einen Speicher für die aktuellen Daten der zu untersuchenden Maske und für vorgegebene Bildmusterdaten einer Referenzmaske auf.

Um das Problem der beim Ätzprozeß auftretenden abgerundeten Ecken zu berücksichtigen, werden die Referenzdaten, die rechtwinklige Ecken enthalten, derart verändert, daß Vergleichsbilder mit noch zulässigen Eckenabrandungen für einen visuellen Vergleich oder für einen automatischen Vergleich bereitgestellt werden. Der aktuelle Datensatz und der modifizierte Referenzdatensatz werden dazu einer Vergleichereinrichtung zugeführt, die ermittelt, ob die gemessenen und die vorgegebenen Konturen innerhalb einer Fehlerschwelle übereinstimmen.

Ein ähnliches Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung sind aus der EP-A-01 47 205 bekannt. Hier weist das zu untersuchende Muster ein regelmäßig wiederkehrendes Grundmuster auf, das dementsprechend nur einmal als Referenzbildmusterdatensatz vorhanden sein muß.

Bei diesem Verfahren werden die harten Kanten der Voragedaten in einer vorgewählten Breite durch nachträglich eingeführte Grau-Werte aufgelöst, um einen Vergleich innerhalb bestimmter Fehlerbreiten zu ermöglichen.

Wie bereits eingangs erwähnt, werden bei diesen bekannten Verfahren die gemessenen Daten der zu untersuchenden Masken unverändert eingelesen und mit vorgegebenen Daten, die ggf. verändert werden, verglichen.

Ferner ist aus der DE-OS 29 03 625 eine Vorrichtung zur automatischen Blutanalyse bekannt. Die Vorrichtung verwendet ein digitales Bild- und Mustererkennungssystem mit einer Mikroskopoptik, wobei ein Verschiebetisch und eine Fokuskontrolle zum Einsatz kommen. Die zu analysierenden Blutzellen müssen hier räumlich voneinander getrennt in einer einzelligen Schicht vorliegen, wobei nur Objekte in einem bestimmten Größenbereich ausgewertet werden. Als zusätzliche Kriterien werden Form und Farbe der Objekte bestimmt.

Wie schon bei dem oben erwähnten Handhabungsroboter hat auch hier das System eine Wiederfindungserwartung bezüglich der zu sortierenden Objekte. Objekte, die in einer dem Rechner nicht vorbekannten Form vorliegen, die also beispielsweise sich zu Clustern zusammengelagert haben oder die eine nicht vorhergesetzte Form angenommen haben, werden als Schmutzfakt ausgesondert. Formveränderliche oder gar bewegliche Objekte, die sich ggf. zu größeren Clustern zusammengelagert haben, können mit dieser Vorrichtung also nicht analysiert werden.

Eine entsprechende Vorrichtung zur Blutanalyse ist in der DE-OS 24 15 974 beschrieben. Die bekannte Vor-

richtung umfaßt einen Verschiebetisch, welcher die zu untersuchende trockene Probe unter einem Mikroskop verfährt. Ferner ist eine Fernsehkamera vorgesehen, welche den vom Mikroskop jeweils erfaßten Teil der Probe auf einem Bildschirm darstellt. Während das Anfahren der einzelnen Blutkörperchen automatisiert erfolgen kann, ist ein Operateur erforderlich, der die Blutkörperchen identifiziert und durch Drücken einer entsprechenden Taste klassifiziert. Damit ist dieses Verfahren mit den selben Nachteilen behaftet wie das eingangs erwähnte manuelle Verfahren zur Untersuchung von belebten Schlämmen.

Aus der DE-OS 33 13 789 ist eine mikroskopische Untersuchungseinrichtung bekannt, bei der im Ermittlungsbetrieb kernhaltige Objekte aufgefunden und anhand einer Reihe von Merkmalen, wie beispielsweise Farbe, Größe und Struktur klassifiziert werden. Auch mit dieser Vorrichtung können nur Objekte klassifiziert werden, für welche eine Wiederfindungserwartung vorhanden ist. Ferner müssen sich die zu untersuchenden Objekte durch wenige aus den optischen Daten ermittelbare Merkmale eindeutig identifizieren lassen.

Damit ist auch dieses Verfahren nicht geeignet, formveränderliche Objekte, die sich ggf. zu Clustern zusammenfinden können, in einer flüssigen Probe aufzufinden, zu identifizieren und zu klassifizieren.

Weiterhin ist in der DE-OS 38 36 716 ein interaktives Verfahren zur Auswertung von Zellbildern beschrieben, bei dem fachlich geschultes Personal erforderlich ist, um im Dialogbetrieb den Rechner bei der Auswertung zu führen und zu unterstützen. Damit ist dieses Verfahren mit den eingangs bereits erwähnten Nachteilen — limitierender Zeitfaktor, hohe Fehlerrate — von manuellen Verfahren behaftet.

Aus den bereits geschilderten Gründen sind alle diese Verfahren zum automatischen Erstellen der Artenliste nicht geeignet.

Ausgehend von dem insoweit zitierten Stand der Technik ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste für eine flüssige Probe zu schaffen, bei dem bzw. bei der ein schneller und hoher Datendurchsatz gewährleistet ist und wobei nur eine geringe Fehlerhäufigkeit auftritt. Die Vorrichtung soll außerdem preiswert zu erstellen und zu betreiben sein. Ferner sollen mit dem neuen Verfahren bzw. der neuen Vorrichtung auch formveränderliche Objekte identifiziert werden können, für deren konkrete jeweilige Form keine Wiederfindungserwartung vorliegt, die also so nicht eindeutig vorhersehbar sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den Schritten:

- 55 a) optisches Erfassen der Probe als Folge von Bilddaten;
- b) Erkennen und Lokalisieren der Objekte in den erfaßten Bilddaten;
- c) Automatisches Identifizieren der lokalisierten Objekte durch automatisches Vergleichen des jeweiligen lokalisierten Objektes mit einer bestimmten Gruppe von Referenzobjekten, die aufgrund von aus den Bilddaten gewonnenen Grobmerkmalen des lokalisierten Objektes aus einer größeren Gruppe von Referenzobjekten ausgewählt werden;
- d) Zählen der identifizierten Objekte nach den jeweiligen Arten; und

e) Eintragen der gezählten Objekte in die Artenliste.

Diese Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch eine Vorrichtung mit:

- a) einer Bildaufnahmeverrichtung zum optischen Erfassen der Probe als Folge von Bilddaten;
- b) einer Lokalisierungseinrichtung zum Erkennen und Lokalisieren der Objekte in den erfaßten Bild-
daten;
- c) einer Identifizierungseinrichtung zum automatischen Identifizieren der lokalisierten Objekte; und
- d) einer Zähleinrichtung zum Zählen der identifizierten Objekte nach den jeweiligen Arten sowie
zum Eintragen der gezählten Objekte in die Arten-
liste, wobei die Identifizierungseinrichtung eine
Sucheinrichtung umfaßt, die die lokalisierten Objekte mit einer Gruppe von Referenzobjekten vergleicht, die sich aufgrund von aus den Bilddaten gewonnenen Grobmerkmalen des lokalisierten Objektes aus einer größeren Gruppe von Referenzobjekten ergeben, und ein identifiziertes Objekt als solches an die Zähleinrichtung meldet.

Die Aufgabe wird auf diese Weise vollkommen gelöst, denn die Anmelder haben erkannt, daß die Hauptfehlerquelle und der Hauptzeitfaktor in dem Identifizieren der Objekte liegt. Durch das automatische Identifizieren mit Hilfe einer Identifizierungseinrichtung werden Fehler weitgehend ausgeschlossen. Das neue Verfahren und die neue Vorrichtung arbeiten darüberhinaus wesentlich schneller als das auf sich gestellte Personal. Das Lokalisieren der Objekte in den erfaßten Bild-
daten könnte zwar noch manuell erfolgen, die Bedienungsperson kann hier jedoch wesentlich ermüdungs-
freier arbeiten, als wenn sie auch noch die lokalisierten Objekte identifizieren müßte. Außerdem ist es jetzt nicht mehr unbedingt erforderlich, qualifiziertes Fach-
personal einzusetzen, für das Lokalisieren von Objekten beispielsweise auf einem Datensichtgerät, können auch angelernte Kräfte eingesetzt werden.

Da das Verfahren in automatisierte/automatisierbare Einzelschritte zerlegt ist, können beispielsweise erst alle Objekte lokalisiert werden bevor die automatischen Identifizierungsprozesse ablaufen. Andererseits ist es aber auch möglich, wenn die automatische Identifizierungseinrichtung sehr schnell arbeitet, jedes lokalisierte Objekt sofort zu identifizieren.

Die neue Vorrichtung bzw. das neue Verfahren arbeitet also derart, daß zunächst aus den Bilddaten Grobmerkmale der Objekte extrahiert werden, aufgrund welcher dann aus den vorhandenen Referenzobjekten eine enge Gruppe ausgewählt wird, mit der dann die zu identifizierenden Objekte verglichen werden. Es handelt sich also sozusagen um ein wissensbasiertes Verfahren.

In einer bevorzugten Weiterbildung ist das Verfahren durch den weiteren Schritt gekennzeichnet:

- f) Automatische, interpretierende Bewertung der Eintragungen in der Artenliste unter Verwendung zielangepaßter Methoden aus Ökologie, Biologie und Ethologie.

Diese Maßnahme hat den Vorteil, daß die Artenliste nicht nur automatisch erstellt, sondern auch automatisch interpretiert wird, so daß mit dem neuen Verfahren ohne Zwischenschaltung des Menschen eine Aussage

über den ökologischen Zustand der untersuchten Probe möglich wird.

Bei dem bisher beschriebenen Verfahren ist es bevorzugt, wenn vor dem Schritt des automatischen Identifizierens das jeweils lokalisierte Objekt folgenden Verfahrensschritten unterzogen wird:

- c1) Automatisches Erkennen des Vorliegens eines aus mehreren zusammenhängenden sich ggf. überlappenden, miteinander verflochtenen Objekten bestehenden Clusterobjektes;
- c2) Abspalten eines Subobjektes von dem Cluster-
objekt und
- c3) Vergleichen des Subobjektes oder des lokalisierten Objektes mit Referenzobjekten (Schritt c von oben).

Hier ist von Vorteil, daß ein Clusterobjekt, das automatisch erkannt wird, in Subobjekte zerlegt wird, die sukzessive mit den zur Verfügung stehenden Referenzobjekten verglichen werden.

Da die Zahl der möglichen Clusterobjekte, die sich in einer flüssigen Probe finden können, riesig groß ist, wäre es nicht möglich, alle möglichen Clusterobjekte als Referenzobjekte vorrätig zu halten. Durch das Zerlegen der Clusterobjekte in Subobjekte wird die Zahl der erforderlichen Referenzobjekte und damit die Zahl der erforderlichen Vergleiche folglich stark reduziert. Dies führt zu einem schnelleren Ablauf des neuen Verfahrens.

In diesem Ausführungsbeispiel ist es bevorzugt, wenn das automatische Identifizieren die weiteren Schritte aufweist:

- c4) Auswählen des zu einem identifizierten Subobjekt gehörenden Referenzobjektes,
- c5) Erzeugen eines modifizierten Clusterobjektes durch Vermindern des Clusterobjektes um das ausgewählte Referenzobjekt und
- c6) Behandeln des modifizierten Clusterobjektes wie ein lokalisiertes Objekt.

Diese Maßnahme ist insofern vorteilhaft, als bei dem Abspalten des Subobjektes nicht zwangsläufig ein vollständiges Hauptobjekt von dem Clusterobjekt abgespalten wurde. Es ist möglich, daß das abgespaltene Subobjekt nur ein Teil eines an dem Clusterobjekt hängenden Einzelobjektes ist. Durch das Auswählen des zu dem Teilobjekt gehörenden Referenzobjektes oder Hauptobjektes wird die Zahl der erforderlichen Zerlegungen eines Clusterobjektes reduziert. Das Clusterobjekt wird nämlich nicht nur um das Subobjekt, sondern um weitere Teilobjekte des zu dem identifizierten Subobjekt gehörenden Hauptobjektes oder Referenzobjektes reduziert. Das modifizierte Clusterobjekt enthält also ggf. wesentlich weniger Subobjekte als wenn nur das zuvor angesprochene Subobjekt von dem Clusterobjekt abgezogen worden wäre.

Hier ist es weiter bevorzugt, wenn das automatische Erkennen des Vorliegens eines Clusterobjektes die Schritte umfaßt:

- c1a) Bestimmung einer Länge/maximalen Ausdehnung des lokalisierten Objektes,
- c1b) Bestimmung von quer zu der Länge verlaufenden Breiten des lokalisierten Objektes und
- c1c) Beurteilung der Abweichungen der Breiten untereinander sowie der Lage der Breiten zu der Län-

ge, um das Vorliegen eines Clusterobjektes zu bestimmen.

Bei diesen Maßnahmen ist von Vorteil, daß aus rein geometrischen Angaben, nämlich der Länge und den quer zu der Länge genommenen Breiten erkannt werden kann, ob ein Objekt oder ein Clusterobjekt vorliegt. Bei einem Clusterobjekt weichen nämlich die Breiten sehr stark voneinander ab, da beispielsweise lange, dünne Objekte und eher kugelförmige Objekte miteinander verbunden sind. Weiterhin liegen bei Clusterobjekten, die beliebige geometrische Formen annehmen, zumindest einige der Breiten "außerhalb" der Länge, d.h. das Clusterobjekt ist dermaßen gewunden, daß die Länge teilweise außerhalb des Umrisses des Clusterobjektes verläuft.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es bevorzugt, wenn der Schritt des Erkennens und Lokalisierens der Objekte die automatische Überführung eines Objektes in ein Teilbild und danach das automatische Detektieren von in sich geschlossenen Umrissen umfaßt.

Bei dieser Maßnahme ist von Vorteil, daß durch das Überführen eines Objektes in ein Teilbild zunächst die weiter zu verarbeitenden Daten reduziert werden, es muß nicht das gesamte Bild, sondern nur das ein oder mehrere Objekte umfassende Teilbild weiter verarbeitet werden.

Ferner ist es bevorzugt, wenn der Schritt des optischen Erfassens der Probe das automatische Aufnehmen von Bildfeldern unterschiedlicher Vergrößerung umfaßt, wobei von der Probe je Vergrößerung über ihr Volumen verteilte Bildfelder aufgenommen werden.

Auf diese vorteilhafte Weise kann die Probe sukzessiv mit verschiedenen Vergrößerungsfaktoren abgetastet oder gescannt werden, so daß in Abhängigkeit von der Größe der zu lokalisierenden Objekte das gesamte Volumen der Probe mit einer gewissen Anzahl von Bildfeldern vollständig erfaßt werden kann. Da dieses Abtasten automatisch erfolgt, werden die beim manuellen Durchsuchen einer flüssigen Probe häufig auftretenden Fehler — es werden bestimmte Bereiche der Probe "vergessen" — vermieden. Auch wird die Probe so mit sämtlichen erforderlichen Vergrößerungsfaktoren durchsucht. Wegen der nahezu vier Größenordnungen überstreichenden verschiedenen Größen der einzelnen Objekte führt dies zu einem hohen Datenaufkommen. Durch den automatisierten Ablauf ist sichergestellt, daß sämtliche Daten erfaßt und verarbeitet werden.

Hier sei erwähnt, daß unter "Bildfelder" eine Zusammenstellung oder Zusammenfassung von "Bilddaten" verstanden wird, die einen bestimmten Abschnitt der Probe wiedergeben. Bei "Bildfeldern" handelt es sich folglich um "zusammengehörende" Bilddaten.

Bei diesem Verfahren ist es weiterhin bevorzugt, wenn der Schritt des Lokalisierens das Zusammenfassen mehrerer Bildfelder, über die sich ein Objekt erstreckt, zu einem Überlagerungsbild umfaßt.

Durch diese vorteilhafte und einfache Maßnahme werden Objekte, deren Größe so ist, daß sie sich über mehrere Bildfelder erstrecken, dennoch als ein Objekt lokalisiert und können in einem einzigen Vergleichsablauf einem Referenzobjekt zugeordnet werden.

In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es bevorzugt, wenn der Schritt des Erkennens und Lokalisierens der Objekte das Detektieren von Bereichen gleicher oder ähnlicher Echtfarbe, Echtfarbmuster oder Echtfarbbereiche umfaßt.

Diese Maßnahme ist insofern vorteilhaft, als es in den

Bilddaten typische Farben für Flocken, Algen, Fäden etc. sowie für den Hintergrund gibt. Auf diese Weise können beispielsweise die immer grün erscheinenden Algen oder die jeweils gelblich zu erkennenden Flocken von dem immer andersfarbigen Hintergrund unterschieden werden.

Ferner ist es bevorzugt, wenn der Vergleich zwischen Objekt bzw. Suchobjekt einerseits und Referenzobjekt andererseits auf der Basis dreidimensionaler virtueller Vektorgraphikdarstellungen erfolgt.

Durch den quasi-optischen virtuellen Vergleich wird gegenüber dem reinen Vergleich von extrahierten Grobmerkmalen der Vorteil erzielt, daß auch Merkmale in die Identifizierung einbezogen werden können, welche sich nicht in Form von beispielsweise Algorhythmen niederlegen lassen. So können die Referenzobjekte Feinststrukturen aufweisen, anhand derer ein leichtes Identifizieren der Suchobjekte möglich ist, während die Aufspaltung dieser Feinststrukturen in Merkmale, die einem binären Entscheidungsbaum zugrundeliegen würden, nicht möglich erscheint.

In diesem Ausführungsbeispiel ist es ferner bevorzugt, wenn der Schritt des automatischen Erkennens eines Clusterobjektes das Zerlegen des Clusterobjektes in Bereiche verschiedener Echtfarben, Echtfarbbereiche und/oder Echtfarbkontraste umfaßt.

Diese Maßnahme ist insofern von Vorteil, als sich ein Clusterobjekt immer in Bereiche verschiedener Farben und Farbkontraste aufspalten läßt. Auf diese Weise ist es möglich, aus den Bilddaten zusätzliche — physikalische Größen betreffende — Aussagen über ein Clusterobjekt zu gewinnen, die eine Zerlegung in Subobjekte ermöglichen.

Außerdem ist es hier bevorzugt, wenn das Clusterobjekt in Bereiche unterschiedlicher Bewegung, geometrischer Form und/oder Größe zerlegt wird.

Auch diese Kriterien ermöglichen in vorteilhafter Weise ein automatisches Erkennen von Subobjekten in einem Clusterobjekt.

Hinsichtlich der neuen Vorrichtung ist es bevorzugt, wenn sie eine Bewertungseinrichtung zur automatischen, interpretierenden Bewertung der Eintragung in die Artenliste unter Verwendung zielangepaßter Methoden aus Ökologie, Biologie und Ethologie umfaßt.

Diese Maßnahme hat den bereits erwähnten Vorteil, daß auch bei der Bewertung der Artenliste der Mensch als mögliche Fehlerquelle ausgeschaltet wird.

Hier ist es ferner bevorzugt, wenn die Sucheinrichtung einen virtuell-optischen Vergleicher umfaßt, der für den Vergleich zwischen Objekt und Referenzobjekt auf der Basis dreidimensionaler virtueller Vektorgraphikdarstellungen vorgesehen ist.

Bei dieser Maßnahme ist von Vorteil, daß der quasi-optische Vergleich dreidimensionaler Darstellungen es ermöglicht, Feinststrukturen zu berücksichtigen, die sich nicht als vergleichbare Einzelmerkmale aus den Bilddaten extrahieren lassen.

Weiterhin ist es bevorzugt, wenn die Identifizierungseinrichtung eine Clusterzerlegungseinrichtung zum Erkennen von aus mehreren zusammenhängenden, sich ggf. überlappenden oder miteinander verflochtenen Objekten bestehenden Clusterobjekten und zum Zerlegen der Clusterobjekte in Subobjekte aufweist, wobei die Clusterzerlegungseinrichtung bei Vorliegen eines Clusterobjektes eines von dessen Subobjekten der Sucheinrichtung zuführt.

Hier ist von Vorteil, daß mit der neuen Vorrichtung auch solche Proben untersucht werden können, in denen

sich Objekte zu Clusterobjekten zusammengelagert haben. Weiterhin ist von Vorteil, daß in dem Vorrat an Referenzobjekten nicht sämtliche möglichen Clusterobjekte vorhanden sein müssen, sondern daß ein Clusterobjekt in kleinere Subobjekte zerlegt wird, welche sich ohne großen Aufwand in die vorgegebene Zahl der Referenzobjekte einreihen lassen. Im allgemeinen ist es sogar so, daß das Subobjekt ein einzelnes Referenzobjekt oder Hauptobjekt oder zumindest ein wesentlicher Teil eines Hauptobjektes ist, so daß die vorgegebenen Referenzobjekte unmittelbar auch zur Bearbeitung von Proben verwendet werden können, in denen sich Clusterobjekte befinden.

In einer Weiterbildung ist es bevorzugt, wenn die Clusterzerlegungseinrichtung eine Clustererkennungseinrichtung zum Erkennen eines Clusterobjektes sowie eine Vorrichtung aufweist, die ein Subobjekt in einem Clusterobjekt erkennt, das Subobjekt von dem Clusterobjekt abspaltet und der Sucheinrichtung zuführt.

Diese Maßnahme ist insbesondere konstruktiv von Vorteil, weil die Clusterzerlegungseinrichtung sozusagen aus zwei Baugruppen aufgebaut werden kann.

Ferner ist es bevorzugt, wenn die Clusterzerlegungseinrichtung einen virtuell-optisch arbeitenden Differenzbildner aufweist, der von dem Clusterobjekt das zu einem identifizierten Subobjekt gehörende Referenzobjekt abzieht und so ein modifiziertes Clusterobjekt erzeugt, das der Clustererkennungseinrichtung zugeführt wird.

Diese vorteilhafte Maßnahme ermöglicht das sukzessive oder iterative "Abarbeiten" eines Clusterobjektes. Zunächst wird ein Subobjekt erkannt und dann wird das zu dem Subobjekt gehörende Hauptobjekt, das mehr Merkmale aufweisen kann als das Subobjekt selbst, von dem Clusterobjekt abgezogen, so daß das Clusterobjekt nicht nur um das Subobjekt sondern um weitere, noch nicht verglichene Subobjekte reduziert wird. Auf diese Weise muß nicht jedes einzelne Subobjekt des Clusterobjektes mit den Referenzobjekten verglichen werden, so daß die Bearbeitungszeit für ein Clusterobjekt deutlich verringert wird.

Ferner ist es bevorzugt, wenn die Clustererkennungseinrichtung eine Vorrichtung zur Bestimmung einer Länge des Objektes oder Clusterobjektes sowie eine Vorrichtung aufweist, die zur Bestimmung von quer zu der Länge verlaufenden Breiten des Objektes oder Clusterobjektes vorgesehen ist, und wenn ferner eine Qualifizierungseinrichtung vorgesehen ist, die anhand von Abweichungen der Breiten zueinander und anhand der Lage der Breiten zu der Länge erkennt, ob das lokalisierte Objekt ein Clusterobjekt ist.

Durch diese einfache und vorteilhafte Weise wird anhand von rein geometrischen Daten entschieden, ob ein Clusterobjekt vorliegt. Die Längenbestimmung ist nichts weiter als das Schlagen eines Umkreises um das gesamte Objekt, während die Breitenbestimmung ggf. nach einer entsprechenden Koordinatentransformation eine reine Differenzbildung zwischen jeweils zwei Punkten auf dem Umriß des Objektes darstellt. Wie bereits oben erwähnt, unterscheiden sich Clusterobjekte von einzelnen Objekten dadurch, daß die Breiten stark variieren und daß außerdem das Clusterobjekt dermaßen unregelmäßig geformt ist, daß die "Länge" sozusagen zumindest bereichsweise "außerhalb" des Umrisses des Clusterobjektes liegt.

Weiterhin ist es bevorzugt, wenn die Clustererkennungseinrichtung eine Vorrichtung aufweist, die anhand von Bewegungsvorgängen in Teilbereichen und/oder

von zusammenhängenden Bereichen gleicher Farbe erkennt, ob das lokalisierte Objekt ein Clusterobjekt ist.

Hier ist von Vorteil, daß auch innere Bewegungsvorgänge in dem Clusterobjekt, das beispielsweise aus Flocken und beweglichen Mikroorganismen bestehen kann, zur Clustererkennung verwendet werden. Dazu können auch Bereiche gleicher oder ähnlicher Farbe herangezogen werden, denn die Flocken und verschiedene Mikroorganismen weisen in den Bilddaten regelmäßig unterschiedliche Farben auf. So sind die Flocken oft gelblich, während z. B. Algen meist grünlich erscheinen.

Ferner ist es bevorzugt, wenn die Lokalisereinrichtung einen Umrißdetektor aufweist, der in den Bilddaten geschlossene Bereiche gleicher Echtfarbenbereiche detektiert, als Objekt erkennt und lokalisiert und danach in sich geschlossene Umrisse ermittelt.

Diese Maßnahme ist insofern von Vorteil, als sowohl Objekte als auch Clusterobjekte in den Bilddaten immer einen in sich geschlossenen Umriß aufweisen. Auch hier ist es also anhand einfacher geometrischer Operationen möglich, ein Objekt oder Clusterobjekt zu lokalisieren. Zusätzlich können auch die Farbinformationen dazu verwendet werden, Objekte vor dem stets anders farbigen Hintergrund zu lokalisieren.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist es ferner bevorzugt, wenn die Bildaufnahmeverrichtung ein Bildaufnahmesystem mit einstellbarer optischer Vergrößerungseinrichtung sowie eine Verfahreinrichtung aufweist, durch welche die Probe relativ zu der Vergrößerungseinrichtung verfahrbar ist, derart, daß mittels des Bildaufnahmesystems von der Probe über ihr Volumen verteilt Bildfelder mit unterschiedlichen Vergrößerungseinstellungen aufnehmbar sind.

Durch diese Maßnahme wird die Probe vollständig abgetastet, wobei je nach gewählter Vergrößerung die Zahl der Bildfelder, die erforderlich ist, um das gesamte Volumen der Probe zu repräsentieren, variiert. Durch die Möglichkeit, verschiedene Vergrößerungseinstellungen zu wählen, können sowohl sehr kleine Objekte wie z. B. Bakterien ($1 \mu\text{m}$) als auch sehr große Objekte mit Abmaßen von mehreren mm detektiert werden.

In dieser Ausführungsform ist es bevorzugt, wenn die Lokalisereinrichtung eine Vorrichtung aufweist, die anhand der von dem Umrißdetektor in den Bildfeldern detektierten Umrisse für ein sich über mehrere Bildfelder erstreckendes Objekt ein Überlagerungsbild erstellt.

Durch diese Maßnahme wird in einfacher und vorteilhafter Weise erreicht, daß auch bei Objekten, die sich an sich über mehrere Bildfelder erstrecken, und somit mehrfach mit Referenzobjekten verglichen werden müßten, ein einmaliger Vergleich mit den zur Verfügung stehenden Referenzobjekten ausreicht. Dies führt zu einem schnelleren Ablauf bei dem Erstellen der Artenliste.

Ferner ist es bevorzugt, wenn die Lokalisereinrichtung einen Bewegungsdetektor aufweist, der anhand der detektierten Umrisse und/oder des Überlagerungsbildes erkennt, ob das lokalisierte Objektform- und/oder ortsveränderlich ist.

Diese Maßnahme ist insofern von Vorteil, als anhand bereits vorliegender Informationen, nämlich der detektierten Umrisse und des Überlagerungsbildes, auf eine Beweglichkeit des lokalisierten Objektes geschlossen wird. Diese Information kann dann bei der Abspaltung von Subobjekten und bei der Eingrenzung der durchzusuchenden Referenzobjekte verwendet werden.

Ferner ist es von Vorteil, wenn die Sucheinrichtung eine Vergleichereinrichtung aufweist, die in Abhängigkeit von Ausgangssignalen von Bewertungseinheiten für Echtfarbe, Bewegung, Größe und geometrische Form/Formveränderlichkeit des zu identifizierenden Objektes oder Subobjektes einen ausgewählten Teil der in einem Referenzobjektspeicher vorgegebenen Referenzobjekte auf virtuell-optische Weise nach dem Objekt/Subobjekt durchsucht.

Der Anwender hat erkannt, daß sich die in einer Probe vorkommenden Objekte durch eine entsprechende Kombination der Kriterien Farbe, Bewegung, Größe und geometrische Form in bestimmte Gruppen aufteilen lassen, so daß bei Vorliegen dieser Kriterien die Zahl der durchzusuchenden Referenzobjekte stark eingeschränkt werden kann. Auch dies führt zu einem schnelleren Ablauf bei der Erstellung der Artenliste.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist es weiterhin bevorzugt, wenn die Vorrichtung zum Erkennen und Abspalten von Subobjekten ein Clusterobjekt in Bereiche verschiedener Echtfarben und/oder Echtfarbkontraste zerlegt und diese Bereiche als Subobjekt behandelt.

Diese Maßnahme ist insofern von Vorteil, als anhand von bereits vorliegenden physikalischen bzw. geometrischen Daten entschieden wird, welche Bereiche eines Clusterobjektes Subobjekte sind. Es ist also lediglich erforderlich, die Bildfelder mit entsprechender Farbkontrastauflösung aufzunehmen, so daß aus den mit dem Bildaufnahmesystem gewonnenen Daten eine Zerlegung von Clusterobjekten in Subobjekte möglich ist.

Hier ist es ferner bevorzugt, wenn die Vorrichtung zum Erkennen und Abspalten von Subobjekten ein Clusterobjekt in Bereiche verschiedener Beweglichkeit, Form und/oder Größe zerlegt und diese Bereiche als Objekt behandelt.

Wie die vorhergehende Maßnahme ist auch diese insofern von Vorteil, als bereits ermittelte Größen und Kennwerte zur Zerlegung des Clusterobjektes herangezogen werden können. Diese Zerlegung ist damit durch einfache beispielsweise Hardwareschaltungen oder Mikrogrammsteuerwerke möglich, so daß auch hier Zeit eingespart wird.

Weiterhin ist es bei dem neuen Verfahren und bei der neuen Vorrichtung bevorzugt, wenn für die Speicherung der Referenzobjekte ein Referenzobjektspeicher vorgesehen ist, in dem die Referenzobjekte in Form virtuell-optischer dreidimensionaler Vektorflächengraphikobjekte gespeichert sind.

Bei dieser Maßnahme ist es von Vorteil, daß den Referenzobjekten sozusagen eine Formveränderlichkeit beigegeben werden kann. Im Rahmen einer Vektorgrafik ist es nämlich möglich, die einzelnen Referenzobjekte derart abzuspeichern, daß bestimmte Freiheitsgrade vorgesehen werden können. Das Referenzobjekt muß also lediglich in einer Grundform vorgesehen sein, die sich im Rahmen zulässiger Freiheitsgrade verändern kann. Dadurch, daß der Vergleich auf virtuell-optischer Ebene erfolgt, können zunächst Suchobjekt und Referenzobjekt durch entsprechende mathematische Operationen in größtmögliche Übereinstimmung gebracht werden. Danach wird dann das Referenzobjekt, dem entsprechende Freiheitsgrade beigegeben sind, im Hinblick auf das Suchobjekt solange verändert, bis sich herausstellt, daß es sich an das Suchobjekt anpassen läßt oder nicht. Auf diese Weise können auch Objekte identifiziert werden, für die keine Wiederfindungserwartung besteht, deren konkrete Form also in dem Referenzdatenspeicher nur als Möglichkeit, nicht jedoch unmittel-

bar abrufbar, gespeichert ist. Es sei noch erwähnt, daß der Vergleich derart durchgeführt wird, daß die das Suchobjekt und das Referenzobjekt repräsentierenden verschiedenen Vektoren nach Betrag und Orientierung verglichen werden und daß beispielsweise bei einer Übereinstimmung in 90% der verglichenen Vektoren von der Zugehörigkeit des Suchobjektes zu der durch das gefundene Referenzobjekt repräsentierten Art auszugehen ist.

Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen und in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die neue Vorrichtung zur Durchführung des neuen Verfahrens, in einer schematischen Gesamtansicht;

Fig. 2 die Steuer- und Auswerteeinheit der Vorrichtung nach Fig. 1, in einem Prinzipschaltbild;

Fig. 3 eine mit der Vorrichtung nach Fig. 1 zu untersuchende Probe, mit schematisch angedeuteten Objekten;

Fig. 4 eine Reihe von mit der Bildaufnahmeverrichtung nach Fig. 1 aufgenommenen Bildfeldern der Probe nach Fig. 3;

Fig. 5 die Lokalisierenseinrichtung aus der Steuer- und Auswerteeinheit nach Fig. 2, in einem schematisierten Blockschaltbild;

Fig. 6 in einer detaillierteren Darstellung ein Bildfeld der Probe nach Fig. 3, mit einer Reihe von Objekten;

Fig. 7 die Identifizierungseinrichtung der Steuer- und Auswerteeinheit nach Fig. 2, in einem schematisierten Blockschaltbild;

Fig. 8 eines der Clusterobjekte aus dem Bildfeld nach Fig. 6, in einer vereinfachten Darstellung;

Fig. 9 die Clustererkennungseinrichtung der Identifizierungseinrichtung nach Fig. 7, in einem schematisierten Blockschaltbild; und

Fig. 10 die Sucheinrichtung der Identifizierungseinrichtung nach Fig. 7, in einem schematisierten Blockschaltbild.

Fig. 1 zeigt eine insgesamt mit 10 bezeichnete Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste für eine zwischen einem Objektträger 11 und einem Deckglas 12 befindliche flüssige Probe 13. Die Probe 13 weist ggf. form- und/oder ortsveränderliche Objekte 14a, 14b unterschiedlicher Arten auf. Die Vorrichtung 10 und das mit ihr durchzuführende Verfahren dienen zum Erstellen einer Artenliste und somit zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe 13, die beispielsweise einer Kläranlage oder einem natürlichen Gewässer entnommen sein kann.

Zur limnologischen Untersuchung ist häufig eine gesonderte Probennahme erforderlich, um Kleinstlebewesen wie Würmer, Insekten oder Schnecken (Größenordnung mm bis cm) erfassen und untersuchen zu können. Derartige ebenfalls flüssige Proben werden nicht auf einem Objektträger gehalten, sondern in einer Petrischale oder einem Uhrglas.

Die zu untersuchenden Probenräume sind also flüssig und in der Regel optisch durchsichtig. Wegen der hohen Formveränderlichkeit der unterschiedlichen Objekte 14 einerseits und der Tatsache, daß die Objekte 14 nicht immer vereinzelt vorliegen, sondern sich überdecken,

überlappen und miteinander verflechten können, andererseits, hat die Vorrichtung 10 gegenüber dem Objekt 14 in der konkret vorliegenden Form häufig keine Wiederfindungserwartung, es ist ihr so "nicht bekannt". Das auf der Vorrichtung 10 durchzuführende Verfahren ist daher wissensbasiert und selbstadaptierend.

Die Vorrichtung 10 weist eine Bildaufnahmeverrichtung 16 auf, zu der ein Bildaufnahmesystem 17 und eine einstellbare optische Vergrößerungseinrichtung 18 gehören. Weiterhin ist eine Verfahrenseinrichtung 19 ange deutet, über welche die Probe 13 relativ zu der Vergrößerungseinrichtung 18 verfahren werden kann. Dieses Verfahren erfolgt zumindest in zwei der drei Achsen X, Y und Z eines bei 20 angedeuteten Koordinatensystems.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Verfahrenseinrichtung 19 ein Kreuztisch 22, der in der X/Y-Ebene verfahren werden kann und ggf. eine Hubeinrichtung zur Veränderung seiner Z-Koordinate aufweist.

Die Vergrößerungseinrichtung 18 umfaßt ein Mikroskop 23, das verschiedene Vergrößerungsfaktoren einstellen kann. Durch entsprechendes Fokussieren des Mikroskopes 23 kann gleichfalls die Z-Ebene, welche von dem als CCD-Kamera 24 ausgebildetem Bildaufnahmesystem 17 erfaßt wird, eingestellt bzw. verändert werden.

Bei einer limnologischen Untersuchung von Kleinstlebewesen wird statt des Mikroskopes 23 eine in der Zeichnung nicht dargestellte Stereolupe verwendet, an die ebenfalls eine CCD-Kamera 24 angeschlossen ist. Je nach Größe der zu untersuchenden Objekte kann auch eine Bildaufnahmeverrichtung ohne vorgeschaltete Vergrößerungseinrichtung verwendet werden.

Weiterhin ist eine Steuer- und Auswerteeinheit 26 vorgesehen, die über eine Datenleitung 27 sowie eine Steuerleitung 28 mit der CCD-Kamera 24 verbunden ist. Auf diese Weise erfolgt eine gesteuerte Aufnahme und Übertragung von Bilddaten in die Steuer- und Auswerteeinheit 26. Die CCD-Kamera 24 ist außerdem über eine weitere Datenleitung 29 mit einem Massenspeicher 31 verbunden, der beispielsweise ein Videorekorder ist und zur Videoarchivierung der untersuchten Probe dient. Über eine Datenleitung 32 ist der Massenspeicher 31 ebenfalls mit der Steuer- und Auswerteeinheit 26 verbunden, die somit die Bilddaten entweder direkt von der CCD-Kamera 24 oder von dem Massenspeicher 31 abfragen kann.

Über eine Verbindungsleitung 33 ist ein Datenendgerät/Terminal 34 an die Steuer- und Auswerteeinheit 26 angeschlossen, um einem Benutzer Bilddaten von der Probe 13 anzuzeigen und um ihm die Möglichkeit zu geben, in den Auswerteprozess einzugreifen.

Weiterhin sind zwei Steuerleitungen 35 und 36 gestrichelt angedeutet, über welche die Steuer- und Auswerteeinheit 26 den Kreuztisch 22 sowie das Mikroskop 23 ansteuert.

Mit der insoweit beschriebenen Vorrichtung wird die Probe 13 nacheinander in X-, Y- und Z-Richtung abgetastet (gescannt), so daß am Ende des Abtastvorganges dreidimensionale Bilddaten zur Verfügung stehen. Einige der Objekte 14 sind — wie erwähnt — beweglich, so daß durch erneutes Scannen auch zusätzlich Informationen auf der Zeitachse gewonnen werden können. Die Qualität der Bilder wird dabei wesentlich durch das Objektiv des Mikroskops 23 und durch die Auflösung/Digitalisierung des aufgenommenen Bildes bestimmt. Durch die einstellbare Vergrößerung des Mikroskopes 23 können Objekte 14 unterschiedlichster Größen erfaßt werden. Die Bilddaten repräsentieren dabei Echtbilder.

Gleichfalls ist es möglich, die Probe 13 einer Fluoreszenzuntersuchung zu unterziehen, indem sie mit einer in Fig. 1 nicht gezeigten Lichtquelle bestrahlt wird, wobei dieses Anregungslicht durch ein entsprechendes Filter 5 in dem Mikroskop 23 wieder herausgefiltert wird.

Die Auswertung der erfaßten Bilddaten erfolgt in der in Fig. 2 detaillierter dargestellten Steuer- und Auswerteeinheit 26. Über die Datenleitungen 27 bzw. 32 werden Bilddaten entweder direkt von der CCD-Kamera 24 oder von dem Massenspeicher 31 in einen Bilddatenspeicher 38 geladen. Über dessen Ausgangsleitung 39 gelangen die Bilddaten in eine Lokalisierungseinrichtung 40, die in noch näher zu beschreibender Weise die in den Bildern enthaltenen Objekte "wahrnimmt", d. h. erkennt und lokalisiert. Die derart lokalisierten Objekte werden über eine Objektdatenleitung 41 in einen Objektdatenspeicher 42 übertragen, von dem sie über seine Ausgangsleitung 43 zu einer Identifizierungseinrichtung 44 gelangen.

Die Identifizierungseinrichtung identifiziert das in dem Objektdatenspeicher 42 anstehende lokalisierte Objekt, d. h. sie bestimmt dessen Art, indem sie das Objekt 14 einer jeweils übereinstimmenden Art in einem noch zu beschreibenden Referenzobjektspeicher als 25 Angehörigen zuordnet. Über eine Objektausgabeleitung 45 ist die Identifizierungseinrichtung 44 mit einer Zähleinrichtung 46 verbunden, die die identifizierten Objekte zählt und über eine Übergabeleitung 47 in eine bei 48 angedeutete Artenliste einträgt.

Ferner ist in Fig. 2 eine Bewertungseinrichtung 49 angedeutet, welche unter Verwendung zielangepaßter Methoden aus Ökologie, Biologie und/oder Etologie eine automatische Bewertung oder Interpretation der in die Artenliste 48 eingetragenen Daten vornimmt. Die Bewertungseinrichtung 49 liefert aufgrund der Interpretation der Artenliste 48 Aussagen über den ökologischen Zustand und ggf. eine Prognose über die Entwicklung der untersuchten Probe 13.

Die insoweit beschriebene Vorrichtung 10 und das auf ihr durchzuführende Verfahren sollen jetzt anhand der Fig. 3 bis 10 näher erläutert werden:

In Fig. 3 ist die Probe 13 aus Fig. 1 in vergrößertem Maßstab dargestellt. Durch gedachte Trennlinien 50 ist die Probe 13 in ein Raster von Bildfeldern 51 unterteilt, die nacheinander von der Bildaufnahmeverrichtung 16 aus Fig. 1 abgetastet werden. Zu diesem Zweck wird der Kreuztisch 22 an eine bestimmte X/Y-Koordinate gefahren und dann werden nacheinander in Z-Richtung übereinanderliegende Bildfelder 51 eines Staps 52 von der CCD-Kamera 24 erfaßt, digitalisiert und als Bilddaten auf die Datenleitungen 27, 29 gegeben. Die Größe der einzelnen Bildfelder 51 richtet sich nach dem Vergrößerungsfaktor, auf den das Mikroskop 23 eingestellt ist. Der Abstand zwischen zwei übereinanderliegenden Bildfeldern 51a, 51d wird bestimmt durch die Schärfentiefe des Mikroskopes; je geringer dessen Schärfentiefe nämlich ist, desto mehr Bildfelder 51 in einem Stapel 52 müssen erfaßt werden, um die ganze Dicke der Probe 13 durchzumustern.

Wenn auf diese Weise ein Stapel 52 "abgearbeitet" wurde, verfährt der Kreuztisch 22 entweder in X- oder in Y-Richtung um die Breite/Länge eines Bildfeldes und das sukzessive Verfahren in Z-Richtung beginnt von neuem. Auf diese Weise wird die Probe 13 sozusagen mäanderförmig abgetastet. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Bildfelder 51 in verschiedenen Z-Ebenen nicht in Form eines Staps 52 anzurufen, sondern jeweils um einen kleinen Betrag gegeneinander zu ver-

setzen, so daß über alles gesehen eine Zick-Zack-Verfahrlinie entsteht: Gegenüber dem mäanderförmigen Scannen müssen dann weniger Verfahrschritte unternommen werden, um die gesamte Probe 13 abzutasten.

Selbstverständlich wird eine Probe 13 für unterschiedliche Vergrößerungsfaktoren des Mikroskopes 23 jeweils erneut abgetastet. Auf diese Weise werden zunächst die großen Objekte 14 mit geringem Vergrößerungsfaktor und dann mit steigender Vergrößerung immer kleinere Objekte 14 erkannt, lokalisiert und identifiziert werden, so daß sie in die Artenliste 48 eingetragen werden können.

In Fig. 3 ist zu erkennen, daß die Objekte 14 beliebige Lagen im Raum einnehmen können, so daß sie sich über mehrere Bildfelder 51 erstrecken können.

Wie in Fig. 4 zu sehen ist, erzeugt ein Objekt 14, das sich in einem Stapel 52 über mehrere übereinanderliegende Bildfelder 51c, 51d und 51e erstreckt, in jedem Bildfeld 51 ein anderes Muster 14', 14'' bzw. 14''. Um das Objekt 14 identifizieren zu können, ist es zunächst erforderlich, zu entscheiden, über wieviele Bildfelder 51 sich ein Objekt 14 erstreckt. In dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel erstreckt sich das Objekt 14 über die Bildfelder 51c - 51e. Bedingt durch die Schärfentiefe des Mikroskopes 23 sind jeweils bestimmte Abschnitte des Objektes 14 in der Ebene des Bildfeldes 51 scharf abgebildet, wie dies in Fig. 4 mittels durchgezogener Linien ange deutet ist, während andere Abschnitte des Objektes 14 lediglich verschwommen zu sehen sind. Dies ist in Fig. 4 durch gestrichelte Linien angedeutet.

Um die einzelnen Bildfelder lagerichtig übereinander legen zu können, müssen die Bildfelder 51 zunächst ggf. gedreht und in X-, Y- und/oder Z-Richtung verschoben werden, um die Bewegung des jeweils betrachteten Objektes 14 zu berücksichtigen. Um zu erkennen, ob es sich in verschiedenen Bildfeldern 51a, 51e um ein Objekt 14 handelt, das sich zwischen den Aufnahmen der aufeinanderfolgenden Bildfelder 51 weiter bewegt hat, oder ob verschiedene Objekte 14, 14b betrachtet werden, können zusätzlich Informationen herangezogen werden, die aus Bilddaten stammen, die mit einem geringeren Vergrößerungsfaktor des Bildaufnahmesystems gewonnen wurden. Bei einem geringeren Vergrößerungsfaktor, also bei anderer Schärfentiefe, läßt sich nämlich leichter unterscheiden, ob es sich um zwei übereinanderliegende Objekte 14b, 14 oder um ein einziges, sich bewegendes Objekt 14 handelt. Bei dieser Überlagerung der einzelnen Bildfelder 51 fällt sozusagen nebenbei bereits eine Information darüber ab, ob es sich um ein sich bewegendes Objekt 14 handelt.

Da zwischen den einzelnen Aufnahmen der Bilder 51c - 51e eine gewisse Zeitspanne vergeht, kann sich das Objekt 14 unterdessen bewegt haben, was jedoch anhand der Abweichung zwischen scharfen Konturen und verwischten Konturen in unterschiedlichen Z-Ebenen erkannt und ausgeglichen werden kann. Bei 53b ist ein weiteres Stapelbild des Objektes 14b angedeutet.

Legt man die einzelnen Bildfelder 51c - 51e also lagerichtig übereinander, so gelangt man zu einem Stapelbild 53, das eine Art Höhenlinienbild 54 des Objektes 14 wiedergibt. Durch dieses Stapelbild 53 liegen die Objekte 14 jetzt in Form von dreidimensionalen Bilddaten vor, so daß sie in der Lokalisereinrichtung 40 erkannt und in der automatischen Identifizierungseinrichtung 44 identifiziert werden können. Dazu werden sie als Vektorgraphikobjekte abgelegt.

Selbstverständlich erstrecken sich die Objekte nicht nur in Z-Richtung durch mehrere Bildfelder 51 hindurch,

es ist durchaus möglich, in gleicher Weise, wie in Fig. 4 für die Z-Richtung gezeigt, auch in X- und/oder Y-Richtung eine derartige Erkennung eines Objektes 14 durchzuführen.

- 5 In Fig. 5 ist die zuständige Lokalisereinrichtung 40 detaillierter dargestellt. Die nacheinander auf der Ausgangsleitung 39 anstehenden Daten der einzelnen Bildfelder 51 gelangen zunächst in einen Umrißdetektor 56, der die Bilddaten nach in sich geschlossenen Umrissen und/oder Bereichen gleicher Farbe durchsucht, und so zu den scharfen (durchgezogenen) Konturen in den Bildfeldern 51a - 51b aus Fig. 4 kommt. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, daß die Objekte 14 immer andersfarbig sind als der Hintergrund, diese sich also nicht nur durch den Kontrast sondern auch durch die Farbgebung von dem Hintergrund unterscheiden. Außerdem erkennt der Umrißdetektor 56 die verschwommenen Konturen der Objekte 14.

Der Umrißdetektor 56 legt zu diesem Zweck wie folgt ein Overlay-Fenster über die jeweiligen Objekte: Zunächst wird Punkt für Punkt eines jeden Bildfeldes 51 daraufhin abgefragt, ob seine Echtfarbe zu dem Hintergrundfarbbereich gehört, oder sich von diesem abhebt. Ist ein Bildpunkt (Pixel) gefunden, der nicht zum Hintergrund gehört, damit also Teil eines Objektes 14 ist, so wird dieser Punkt von einem virtuellen viereckigen Fenster überdeckt. Die Kanten des Fensters werden jetzt solange iterativ in alle vier Koordinatenrichtungen von einander weggerichtet verschoben, bis die Kanten nur noch über Pixel liegen, die dem Hintergrundfarbbereich zuzuordnen sind. Da das Ausgangspixel ein Objekt-Pixel war, ist auf diese Weise sichergestellt, daß in dem so erzeugten Overlay-Fenster zumindest ein Objekt eingeschlossen ist.

- 35 Das so eingegrenzte Objekt 14 wird in ein Teilbild umkopiert, so daß die weiterhin zu bearbeitenden Daten deutlich reduziert worden sind. Nach dem Umkopieren wird das so in dem Original-Bilddatensatz erkannte Objekt (die Objekte) dadurch "gelöscht", daß die erkannten Objekt-Pixel in Hintergrund-Pixel umgewandelt werden. In den Original-Bilddaten sind somit nur noch "nicht wahrgenommene" Objekte enthalten, die auf gleiche Weise erkannt und umkopiert werden.

Während des Verschiebens der Overlay-Fensterkanten hat der Umrißdetektor 56 gleichzeitig jedes Objekt-Pixel als ein solches markiert und zusätzlich auf folgende Weise Pixel erkannt, die zum Umriß des jeweiligen Objektes 14 gehören: Jedes Pixel, das zumindest an einer seiner vier Seiten an ein Pixel mit Hintergrundfarbe grenzt, "gehört" zum Umriß des Objektes, während allseitig von Objekt-Pixeln umgebene Pixel "im Inneren" des Objektes liegen. Wegen des soeben beschriebenen Verfahrens ist außerdem gewährleistet, daß jede Kante des Overlay-Fensters zumindest an einer Stelle an das umschlossene Objekt angrenzt.

- 45 Nachdem die einzelnen Objekte in den unterschiedlichen Bildfeldern 51 so erkannt worden sind, gelangen die reduzierten Daten in einen Stapelbildüberlagerer 57, der die einzelnen Bildfelder 51 - wie anhand von Fig. 4 bereits beschrieben - so übereinander legt, daß die verschwommenen und die scharfen Konturen unterschiedlicher Bildfelder 51 übereinstimmen. Die derart zueinander ausgerichteten einzelnen Stapelbilder 51a - 51e werden in dem Objektkontrollierer 58 als dreidimensionale Vektorgraphikdarstellungen abgelegt. Die Daten gelangen von hier zu einem Bewegungsdetektor 59, der anhand der um zu einem Objekt 14 zu gelgenden erforderlich gewesenen Verschiebung der ein-

zernen Bildfelder 51 ermittelt, ob es sich um ein sich bewegendes Objekt handelt. Über die Ausgangsleitungen 60 und 61 werden die Daten des Stapelbildes 53 sowie die Bewegungsinformation einer Verknüpfungsschaltung 62 zugeführt, die diese Daten über die Objektdatenleitung 41 in den Objektdatenspeicher 42 gibt.

In Fig. 6 ist ausschnittsweise die Projektion eines von der Lokalisereinrichtung 40 erzeugten Stapelbildes 53 dargestellt, wie es typischerweise für eine Probe 13 eines Belebtschlammes gefunden wird. Das Stapelbild 53 gibt eine kleine Flocke 64, ein Protozoen 65 sowie eine Fadenbakterie 66 mit zusätzlichem bakteriellem Aufwuchs 67 wieder. Weiterhin ist eine große Flocke 68 zu erkennen, an der eine weitere Fadenbakterie 69 sitzt. Ferner weist Fig. 6 eine Kolonie von drei Glockentieren 70a, 70b, 70c auf, die einen gemeinsamen Stiel 71 haben, der mit seinem Fußpunkt 72 an der großen Flocke 68 sitzt. Während die Objekte 64 und 65 Einzelobjekte sind, die in der Identifizierungseinrichtung 44 problemlos identifiziert werden können, stellen die Objekte 66, 67 sowie 68, 69, 70, 71 ein Clusterobjekt 73a, 73 dar. Die Zahl der möglichen Clusterobjekte ist so astronomisch hoch, daß es nicht möglich ist, für diese Clusterobjekte Referenzdatenobjekte zu erzeugen. Die Identifizierungseinrichtung 44 muß daher jedes beliebige Clusterobjekt 73 so weiter verarbeiten können, daß es mit einer begrenzten Anzahl von vorgegebenen Referenzdaten eindeutig identifiziert werden kann. Hier ist noch zu bedenken, daß die Teilobjekte eines Clusterobjektes 73 sich zumindest teilweise gegenseitig überdecken bzw. überlappen können und ggf. auch miteinander verflochten sind.

In Fig. 7 ist gezeigt, daß die Identifizierungseinrichtung 44 aus diesem Grunde eine Clusterzerlegungseinrichtung 74 sowie eine Objekterkennungseinrichtung 75 aufweist. Die Daten eines lokalisierten Objektes gelangen über die Ausgangsleitung 43 in eine Clustererkennungseinrichtung 76, die jedes neu anstehende Objekt daraufhin überprüft, ob es ein Einzelobjekt oder ein Clusterobjekt 73 ist. Wie dies geschieht, wird noch erläutert.

Handelt es sich bei dem auf der Ausgangsleitung 43 anstehenden Objekt um ein Einzelobjekt, so überträgt die Clustererkennungseinrichtung 76 die Daten über seine Ausgangsleitung 77 in einen Vergleichsspeicher 78 der Objekterkennungseinrichtung 75. Handelt es sich dagegen um ein Clusterobjekt 73, so werden die Daten von der Clustererkennungseinrichtung 76 über seine Ausgangsleitung 79 in einen Clusterspeicher 80 geladen. Von dem Clusterspeicher 80 gelangen die Daten über eine Clusterdatenleitung 81 in eine Subobjekterkennungseinrichtung 82, die ein Clusterobjekt 73 in eine Reihe von Subobjekten zerlegt. Diese Zerlegung in Subobjekte erfolgt anhand weiterer Daten, die beispielsweise Aussagen über die geometrische Form bestimmter Bereiche des Clusters machen. Weiterhin werden die Farben der Clusterbereiche und/oder die unterschiedlichen Kontraste dazu herangezogen, das in Fig. 6 gezeigte Clusterobjekt 73 in einzelne Subobjekte zu zerlegen. Zurückkehrend zu Fig. 6 ist zu erkennen, daß beispielsweise die Glockentierchen 70 und ihre Stiele 71 unterschiedlich schraffiert sind, wodurch eine unterschiedliche Farbe angedeutet ist. Die Subobjekterkennungseinrichtung 82 spaltet jetzt beispielsweise das Glockentierchen 70a von dem Cluster 73 ab und übermittelt die Daten des Glockentierchens 70a über eine Subobjekt-Datenleitung 83 in den Vergleichsspeicher 78.

Der Vergleichsspeicher 78 enthält jetzt entweder die Daten eines Einzelobjektes 14 oder die Daten eines Subobjektes. Diese als "Suchobjekt" bezeichneten Daten gelangen über eine Suchobjekt-Datenleitung 84 in eine Sucheinrichtung 85, die ihrerseits über eine Referenzobjekt-Datenleitung 86 mit einem Referenzdatenspeicher 87 in Verbindung steht. In dem Referenzdatenspeicher 87 sind in vektorieller, dreidimensionaler Darstellung sämtliche Objekte 14 enthalten, die in einer Probe 13 auftreten können.

Da viele der Objekte 14 formveränderlich sind, also beispielsweise eine andere geometrische Gestalt aufweisen, wenn sie ruhen oder sich bewegen, muß dies bei den Referenzobjektdaten berücksichtigt werden. Die Zahl der möglichen Formen, die ein einziges bewegliches Objekt 14 annehmen kann, ist jedoch so groß, daß diese nicht sämtlich vorhergesehen und abgespeichert werden können. Aus diesem Grunde erfolgt der Aufbau des Referenzdatenspeichers 87 derart, daß die Referenzobjekte in einer oder mehreren geometrischen Grundformen abgelegt werden. Zusätzlich zu dieser Grundform sind Freiheitsgrade abgespeichert, die die möglichen und zulässigen Bewegungen und Formveränderungen des jeweiligen Objektes berücksichtigen. Beim Vergleich zwischen dem Suchobjekt und den verschiedenen Referenzobjekten werden jetzt die Referenzobjekte im Hinblick auf das Suchobjekt solange verändert (im Rahmen ihrer zulässigen Freiheitsgrade) bis sie entweder zu dem Suchobjekt "passen", oder aber bis sich ergibt, daß keine Übereinstimmung zu erzielen ist. Dieser Vergleich ist ein virtuell-optischer Vorgang, bei dem aufgrund eines wissensbasierten Verfahrens (die zulässigen Freiheitsgrade eines Referenzobjektes sind abgespeichert) die Vektorgraphikdarstellung eines Objektes/Subobjektes mit einer zweidimensionalen Projektion eines virtuellen dreidimensionalen Vektorflächengraphikmodells des jeweils zu vergleichenden Referenzobjektes verglichen wird.

Die Sucheinrichtung 85 vergleicht also jetzt die Daten, die auf der Suchobjekt-Datenleitung 84 anstehen, mit den vorhandenen Daten des Referenzdatenspeichers 87, bis das mit dem Suchobjekt übereinstimmende Referenzobjekt gefunden ist. Bei der Abspaltung in der Subobjekterkennungseinrichtung 82 kann es nun vorkommen, daß kein ganzes Objekt 14 von dem Cluster 73 abgespalten wird, sondern nur ein Teilobjekt. In dem Beispiel der Fig. 6 wird nicht ein aus Stiel 71a und Glockenteil 70a bestehendes Glockentierchen abgespalten, sondern nur das Teilobjekt 70a.

In dem Referenzdatenspeicher 87 findet sich jedoch zu dem Teilobjekt 70a ein Hauptobjekt 14 bestehend aus Teilobjekt 70a und Teilobjekt 71a. Dieses Hauptobjekt wird jetzt über eine Hauptobjekt-Datenleitung 88 an einen virtuell-optisch arbeitenden Differenzbildner 89 gegeben, der über eine Leitung 90 ebenfalls mit dem Clusterspeicher 80 in Verbindung steht. Der Differenzbildner 89 modifiziert jetzt das ursprünglich in dem Clusterspeicher 80 befindliche Clusterobjekt derart, daß es um das bereits erkannte Hauptobjekt reduziert wird.

Das modifizierte Clusterobjekt gelangt über die Leitung 91 zurück in die Clustererkennungseinrichtung 76, wo die nun anstehenden Bilddaten entweder erneut als Cluster erkannt werden und in den Clusterspeicher 80 eingeschrieben werden, oder aber als Einzelobjekt erkannt werden und somit unmittelbar in den Vergleichsspeicher 78 gegeben werden.

Selbstverständlich wird jedes erkannte Hauptobjekt über die Objektausgabeleitung 45 an die Zähleinrich-

tung 46 meldet.

Hier sei erwähnt, daß die in dem Referenzdatenspeicher 87 vorhandenen Referenzobjekte von Fall zu Fall um weitere neu auftretende oder neu zu bestimmende Objekte erweitert wird, die Vorrichtung 10 ist also selbstadaptierend.

Anhand von Fig. 8 wird jetzt beschrieben, nach welchen Kriterien die Clustererkennungseinrichtung 76 ermittelt, ob es sich bei den auf der Ausgangsleitung 43 anstehenden Daten um ein einzelnes Objekt 14 oder um ein Clusterobjekt 73 handelt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in Fig. 8 die Glockentierchen 70b und 70c aus Fig. 6 weggelassen. Die Farben und der Kontrast der einzelnen Elemente des Clusters 73' aus Fig. 8 spielen in diesem Beispiel für die Erkennung, ob es sich um ein Cluster handelt, ebenfalls keine Rolle. Das Clusterobjekt 73 ist in Fig. 8 lediglich durch seinen bei 92 angedeuteten Umriß repräsentiert. Dieser Umriß des Clusterobjektes 73 wurde bereits mit Hilfe des Umrißdetektors 56 — siehe Fig. 5 — ermittelt.

Die Clustererkennungseinrichtung 76 legt jetzt einen Umkreis um das Clusterobjekt und bestimmt so seine bei 93 angedeutete Länge, seine maximale Ausdehnung in der X/Y-Ebene. Dies geschieht beispielsweise, indem zwischen sämtlichen Koordinatenpaaren (X/Y) der Abstand bestimmt wird und dann der maximale Abstand als Länge 93 in die Bilddaten aufgenommen wird.

Als nächstes wird die Breite des Clusterobjektes 73 bzw. des Objektes 14 senkrecht zu der Länge 93 bestimmt. Dies geschieht ebenfalls durch eine Abstandsbestimmung zwischen den entsprechenden Koordinaten, einige Breiten sind bei 94a, 94b in Fig. 8 angedeutet. Es ist zu erkennen, daß das Clusterobjekt 73 teilweise Breiten 94c aufweist, die keinen Schnittpunkt mit der Länge 93 aufweisen. Dies ist ein Indiz für eine unregelmäßige Form des Objektes 14 bzw. des Clusterobjektes 73. Nach jeweils festzulegenden Kriterien ermittelt die Clustererkennungseinrichtung 76 aus der Variation der verschiedenen Breiten 94a — 94c sowie aus der Tatsache, wie oft die Länge 93 "außerhalb" des Objektes 14 bzw. des Clusterobjektes 73 liegt, ob es sich bei dem vorliegenden Datensatz um ein Clusterobjekt 73 handelt.

Die Clustererkennungseinrichtung 76 ist in Fig. 9 detaillierter dargestellt. Die auf der Ausgangsleitung 43 anstehenden Objektdaten eines lokalisierten Objektes werden über eine innere Datenverzweigung 95 einzelnen Baugruppen der Clustererkennungseinrichtung 76 zugeführt. Über einen Umschalter 96 wird dabei entweder die Ausgangsleitung 43, die von dem Objektdatenspeicher 42 kommt, oder die Leitung 91, die Informationen eines modifizierten Clusterobjektes 73 enthält, auf die innere Datenverzweigung 95 geschaltet.

Diese Daten gelangen in eine Vorrichtung 97 zur Längenbestimmung, eine Vorrichtung 98 zur Breitenbestimmung und eine Qualifizierungseinrichtung 99, die z. B. aus dem Verhältnis Länge zu Breite ermittelt, ob es sich bei dem zu bewertenden Objekt 14 um ein einzelnes Objekt 14 oder um ein Clusterobjekt 73 handelt. Die Funktionsweise der Vorrichtungen 97, 98 und der Qualifizierungseinrichtung 99 wurde bereits anhand von Fig. 8 erläutert.

Die Qualifizierungseinrichtung 99 gibt die anstehenden Daten entweder auf die Ausgangsleitung 77, wenn es sich um ein einzelnes Objekt 14 handelt, oder auf die Ausgangsleitung 79, wenn es sich um ein Clusterobjekt 73 handelt.

Die Clustererkennungseinrichtung 76 weist weiterhin

eine Vorrichtung 100 auf, die anhand von Bewegungsvorgängen in Teilbereichen eines Clusters und/oder von zusammenhängenden Bereichen gleicher Echtfarben erkennt, ob das lokalisierte Objekt 14 ein Clusterobjekt 73 ist.

Als letztes soll erläutert werden, wie die Scheinrichtung 85 die auf der Suchobjekt-Datenleitung 84 anstehenden Suchobjekte mit den auf der Referenzdatenleitung 86 zugänglichen Referenzdaten des Referenzdatenspeichers 87 vergleicht. Dies geschieht anhand von Fig. 10.

Die Scheinrichtung 85 weist zu diesem Zweck eine virtuelle optisch arbeitende Vergleichereinrichtung 101 auf, die nacheinander die zur Verfügung stehenden Daten des Referenzdatenspeichers 87 abfragt und mit den Suchobjektdaten auf der Suchobjekt-Datenleitung 84 vergleicht. Damit nicht bei jedem Suchobjekt sämtliche Referenzobjekte durchgemustert werden müssen, umfaßt die Scheinrichtung 85 beispielsweise vier Bewertungseinheiten 102, 103, 104 und 105, welche die Suchobjekte nach Farbe, Bewegung, Größe und geometrischer Form bzw. Formveränderlichkeit qualifizieren. Diese Informationen führen zu Entscheidungskriterien, die es der Vergleichereinrichtung 101 ermöglichen, nur einen kleinen Satz der gesamten zur Verfügung stehenden Referenzobjekte tatsächlich mit dem jeweiligen Suchobjekt zu vergleichen.

Ist das Suchobjekt beispielsweise in seiner längsten Ausdehnung kleiner als zwei μm , werden nur die in dem Referenzdatenspeicher 87 gespeicherten Bakterien mit dem Suchobjekt verglichen. Hat das Suchobjekt dagegen eine ausgefallene, seltene Farbgebung, so werden nur die mit dem entsprechenden Farocode identifizierten Referenzobjekte mit dem Suchobjekt verglichen. Entsprechende Überlegungen lassen sich auch für Bewegung und geometrische Form anstellen.

Je nachdem, welches der hier beispielhaft angeführten vier Kriterien Farbe, Bewegung, Größe und geometrische Form sich als am relevantesten erweist, durchsucht die Vergleichereinrichtung 101 bestimmte Bereiche des Referenzdatenspeichers 87. Auf diese Weise läßt sich eine sehr viel schnellere Identifizierung des Objektes und in rekursiver Weise damit eines Clusters 73 durchführen.

Die Bewertungseinrichtungen 102 — 105 stellen sozusagen einen Merkmalsatzvergleicher dar, welcher aufgrund von aus den Bilddaten extrahierter Merkmale eine Art morphologische Klassifizierung der Objekte durchführt. Wegen der hohen Formverschiedenheit der einzelnen Objekte ein- und derselben Art, ist eine derartige morphologische Klassifizierung aufgrund von Grobmerkmalen jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad möglich. Danach erfolgt — wie bereits oben beschrieben — in der Vergleichereinrichtung 101 ein quasi-visueller Vergleich, ein Vergleich auf der Basis virtueller dreidimensionaler Vektographik. Dabei werden die Vektoren von Such- und Referenzobjekt hinsichtlich Betrag (Länge) und Raumwinkel (Orientierung im Raum) miteinander verglichen. Die Referenzobjekte sind dabei formveränderlich angelegt, sie werden also im Hinblick auf das jeweilige Suchobjekt solange verändert, bis sie "passen". Auf diese Weise können alle nicht ohne weiteres beschreibbaren Merkmale dennoch berücksichtigt werden, da sie in der feinstspezifischen Struktur des Referenzobjektes implementiert sind. Eine vollständige Objektidentifizierung anhand beschreibender Merkmale ist auch deshalb nicht möglich, weil sich die unterschiedlichen Arten zum Teil durch Merkmals-

sätze voneinander unterscheiden, die nur schwer in Algorhythmen, sei es auf Hardware- oder auf Software-Ebene erfassen lassen.

Ist das Suchobjekt als Teil eines Hauptobjektes erkannt worden, so wird das entsprechende Hauptobjekt von der Vergleichereinrichtung 101 in einen Hauptobjektspeicher 106 geladen, der über die Hauptobjekt-Datenleitung 88 mit dem Differenzbildner 89 in Verbindung steht.

Lediglich der Vollständigkeit halber sei abschließend erwähnt, daß die diversen in den Fig. 2, 4, 5, 7, 9 und 10 durch rechteckige Kästchen angedeuteten Baugruppen in beliebiger Kombination ganz oder auch zum Teil entweder durch reine Hardware-Schaltungen/Mikroprogrammsteuerwerke, Rechenschaltungen oder programmgesteuerte Datenverarbeitungseinheiten realisiert sein können. Weiterhin ist es selbstverständlich, daß die einzelnen Speicher entweder getrennte Speicher sein können oder aber teilweise überlappende Bereiche eines einzigen Speichers sein können.

20

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erstellen einer Artenliste (48) für eine flüssige Probe (13) mit ggf. form- und/oder 25 ortsveränderlichen sich z. T. gegenseitig überdeckenden oder überlappendenden Objekten unterschiedlicher Arten zur Ermittlung des ökologischen Zustandes der Probe (13), mit den Schritten:

- a) Optisches Erfassen der Probe (13) als Folge 30 von Bilddaten;
- b) Erkennen und Lokalisieren der Objekte (14) in den erfaßten Bilddaten;
- c) Automatisches Identifizieren der lokalisierten Objekte (14) durch automatisches Vergleichen des jeweiligen lokalisierten Objektes (14) mit einer bestimmten Gruppe von Referenzobjekten, die aufgrund von aus den Bilddaten gewonnenen Grobmerkmalen des lokalisierten Objektes (14) aus einer größeren Gruppe 40 von Referenzobjekten ausgewählt werden;
- d) Zählen der identifizierten Objekte (14) nach den jeweiligen Arten; und
- e) Eintragen der gezählten Objekte (14) in die Artenliste (48).

45

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt:

- f) Automatische, interpretierende Bewertung der Eintragungen in der Artenliste unter Verwendung zielangepaßter Methoden aus Ökologie, Biologie und Ethologie.

50

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Schritt des automatischen Identifizierens das jeweils lokalisierte Objekt folgenden Verfahrensschritten unterzogen wird:

55

- c1) Automatisches Erkennen des Vorliegens eines aus mehreren zusammenhängenden sich ggf. überlappenden, miteinander verflochtenen Objekten (14) bestehenden Clusterobjektes (73);
- c2) Abspalten eines Subobjektes von dem Clusterobjekt (73); und
- c3) Vergleichen des Subobjektes oder des lokalisierten Objektes mit Referenzobjekten (Schritt c) aus Anspruch 1).

60

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das automatische Identifizieren die weiteren Schritte umfaßt:

65

- c4) Auswählen des zu einem identifizierten Subobjekt gehörenden Referenzobjektes;
- c5) Erzeugen eines modifizierten Clusterobjektes (73) durch Vermindern des Clusterobjektes (73) um das ausgewählte Referenzobjekt; und
- c6) Behandeln des modifizierten Clusterobjektes (73) wie ein lokalisiertes Objekt (14) (Schritt c1).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das automatische Erkennen des Vorliegens eines Clusterobjektes (73) die Schritte umfaßt:

- c1a) Bestimmung einer Länge (73) oder maximalen Ausdehnung des lokalisierten Objektes (14);
- c1b) Bestimmung von quer zu der Länge (93) verlaufenden Breiten (94) des lokalisierten Objektes (14); und
- c1c) Bewerten der Abweichungen der Breiten (94a, 94b, 94c) untereinander sowie der Lage der Breiten (94) zu der Länge (93), um das Vorliegen eines Clusterobjektes (73) zu bestimmen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Erkennens und Lokalisierens der Objekte (14) die automatische Überführung eines Objektes (14) in ein Teilbild und danach das automatische Detektieren von in sich geschlossenen Umrissen (92) umfaßt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des optischen Erfassens der Probe (13) das automatische Aufnehmen von Bildfeldern (51) unterschiedlicher Vergrößerung umfaßt, wobei von der Probe (13) je Vergrößerung über ihr Volumen verteilte Bildfelder (51) aufgenommen werden.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Lokalisierens das Zusammenfassen mehrerer Bildfelder (51), über die sich ein Objekt (14) erstreckt, zu einem Überlagerungsbild (53) umfaßt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Lokalisierens der Objekte (14) das Detektieren von Bereichen gleicher oder ähnlicher Echtfarbe, Echtfarbmuster oder Echtfarbbereiche umfaßt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich zwischen Objekt bzw. Subobjekt einerseits und Referenzobjekt andererseits auf der Basis dreidimensionaler virtueller Vektorgraphikdarstellungen erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das automatische Erkennen eines Clusterobjektes (73) das Zerlegen des Clusterobjektes (73) in Bereiche verschiedener Echtfarben, Echtfarbmuster und/oder Echtfarbbkontraste umfaßt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Clusterobjekt in Bereiche unterschiedlicher Bewegung, geometrischer Form und Größe zerlegt wird.

13. Vorrichtung zum Erstellen einer Artenliste (48) für eine flüssige Probe (13) mit ggf. form- und/oder ortsveränderlichen, sich z. T. gegenseitig überdeckenden oder überlappendenden Objekten (14) unterschiedlicher Arten zur Ermittlung des ökologischen

Zustand der Probe (13), mit:

- a) Einer Bildaufnahmeverrichtung (16) zum optischen Erfassen der Probe (13) als Folge von Bilddaten;
- b) einer Lokalisereinrichtung (40) zum Erkennen und Lokalisieren der Objekte (14) in den erfaßten Bilddaten;
- c) einer Identifizierungseinrichtung (44) zum automatischen Identifizieren der lokalisierten Objekte (14); und
- d) einer Zähleinrichtung (46) zum Zählen der identifizierten Objekte (14) nach den jeweiligen Arten sowie zum Eintragen der gezählten Objekte (14) in die Artenliste (48), wobei die Identifizierungseinrichtung (44) eine Sucheinrichtung (85) umfaßt, die die lokalisierten Objekte (14) mit einer Gruppe von Referenzobjekten vergleicht, die sich aufgrund von aus den Bilddaten gewonnenen Grobmerkmalen des lokalisierten Objektes (14) aus einer größeren Gruppe von Referenzobjekten ergeben, und ein identifiziertes Objekt (14) als solches an die Zähleinrichtung (46) meldet.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Bewertungseinrichtung (49) zur automatischen, interpretierenden Bewertung der Eintragung in die Artenliste (48) unter Verwendung zielangepaßter Methoden aus Ökologie, Biologie und Ethologie umfaßt.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Sucheinrichtung (85) eine virtuelloptischen Vergleicher (101) umfaßt für den Vergleich zwischen Objekt und Referenzobjekt auf der Basis dreidimensionaler virtueller Vektorgraphikdarstellungen.

16. Vorrichtung nach Anspruch 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Identifizierungseinrichtung (44) eine Clusterzerlegungseinrichtung (74) zum Erkennen von aus mehreren zusammenhängenden, sich ggf. überlappenden oder miteinander verflochtenen Objekten (14) bestehenden Clusterobjekten (73) und zum Zerlegen der Clusterobjekte (73) in Subobjekte aufweist, wobei die Clusterzerlegungseinrichtung (74) bei Vorliegen eines Clusterobjektes (73) eines von dessen Subobjekten der Sucheinrichtung (85) zuführt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Clusterzerlegungseinrichtung (74) eine Clustererkennungseinrichtung (76) zum Erkennen eines Clusterobjektes (73) sowie eine Vorrichtung (82) aufweist, die ein Subobjekt in einem Cluster (73) erkennt, das Subobjekt von dem Cluster (73) abspaltet und der Sucheinrichtung (85) zuführt.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Clusterzerlegungseinrichtung (74) einen virtuell-optisch arbeitenden Differenz-Bildner (89) aufweist, der von dem Clusterobjekt (73) das zu einem identifizierten Subobjekt gehörende Referenzobjekt abzieht und so ein modifiziertes Clusterobjekt (73) erzeugt, das der Clustererkennungseinrichtung (76) zugeführt wird.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Clustererkennungseinrichtung (76) eine Vorrichtung (97) zur Bestimmung einer Länge (93) des Objektes (14) oder Clusterobjektes (73) sowie eine Vorrichtung (98) aufweist, die zur Bestimmung von quer zu der Län-

ge (93) verlaufenden Breiten (94a, 94b, 94c) des Objektes (14) oder Clusterobjektes (73) vorgesehen ist, und daß ferner eine Qualifizierungseinrichtung (99) vorgesehen ist, die anhand von Abweichungen der Breiten (94) zueinander und anhand der Lage der Breiten (94) zu der Länge (93) erkennt, ob das lokalisierte Objekt (14) ein Clusterobjekt (73) ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Clustererkennungseinrichtung (76) eine Vorrichtung (100) aufweist, die anhand von Bewegungsvorgängen in Teilbereichen und/oder von zusammenhängenden Bereichen gleicher Farbe erkennt, ob das lokalisierte Objekt (14) ein Clusterobjekt (73) ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lokalisereinrichtung (40) einen Umrißdetektor (56) aufweist, der in den Bilddaten geschlossene Bereiche gleicher Echtfarbenbereiche detektiert als Objekt (14) erkennt und lokalisiert und danach in sich geschlossene Umrisse (92) ermittelt.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildaufnahmeverrichtung (16) ein Bildaufnahmesystem (17) mit einstellbarer optischer Vergrößerungseinrichtung (18) sowie eine Verfahreinrichtung (19) aufweist, durch welche die Probe (13) relativ zu der Vergrößerungseinrichtung (18) verfahrbar ist, derart, daß mittels des Bildaufnahmesystems (17) von der Probe (13) über ihr Volumen verteilte Bildfelder (51) mit unterschiedlichen Vergrößerungseinstellungen aufnehmbar sind.

23. Vorrichtung nach den Ansprüchen 21 und 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Lokalisereinrichtung (40) eine Vorrichtung (57, 58) aufweist, die anhand der von dem Umrißdetektor (56) in den Bildfeldern (51) detektierten Umrissen (92) für ein sich über mehrere Bildfelder (51) erstreckendes Objekt (14) ein Überlagerungsbild (53) erstellt.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Lokalisereinrichtung (40) einen Bewegungsdetektor (59) aufweist, der anhand der detektierten Umrissen (92) und/oder des Überlagerungsbildes (53) erkennt, ob das lokalisierte Objekt (14) form- und/oder ortsvielerlich ist.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Sucheinrichtung (85) eine Vergleichereinrichtung (101) aufweist, die in Abhängigkeit von Ausgangssignalen von Bewertungseinheiten (102, 103, 104, 105) bspw. für Echtfarbe, Bewegung, Größe und geometrische Form/Formveränderlichkeit des zu identifizierenden Objektes (14) oder Subobjektes einen ausgewählten Teil der in einem Referenzobjektspeicher (87) vorgegebenen Referenzobjekte auf virtuell-optische Weise nach dem Objekt/Subobjekt durchsucht.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (82) zum Erkennen und Abspalten von Subobjekten ein Clusterobjekt (73) in Bereiche verschiedener Echtfarben und/oder Echtfarbkontraste zerlegt, und diese Bereiche als Subobjekt behandelt.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (82) zum Erkennen und Abspalten von Subobjekten ein Clusterobjekt (73) in Bereiche verschiedener Bewegung, Form und/oder Größe zerlegt, und

diese Bereiche als Subobjekt behandelt.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß für die Speicherung der Referenzobjekte ein Referenzobjektspeicher (87) vorgesehen ist, in dem die Referenzobjekte in Form virtuell-optischer dreidimensionaler Vektorflächengraphikobjekte gespeichert sind.
5

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

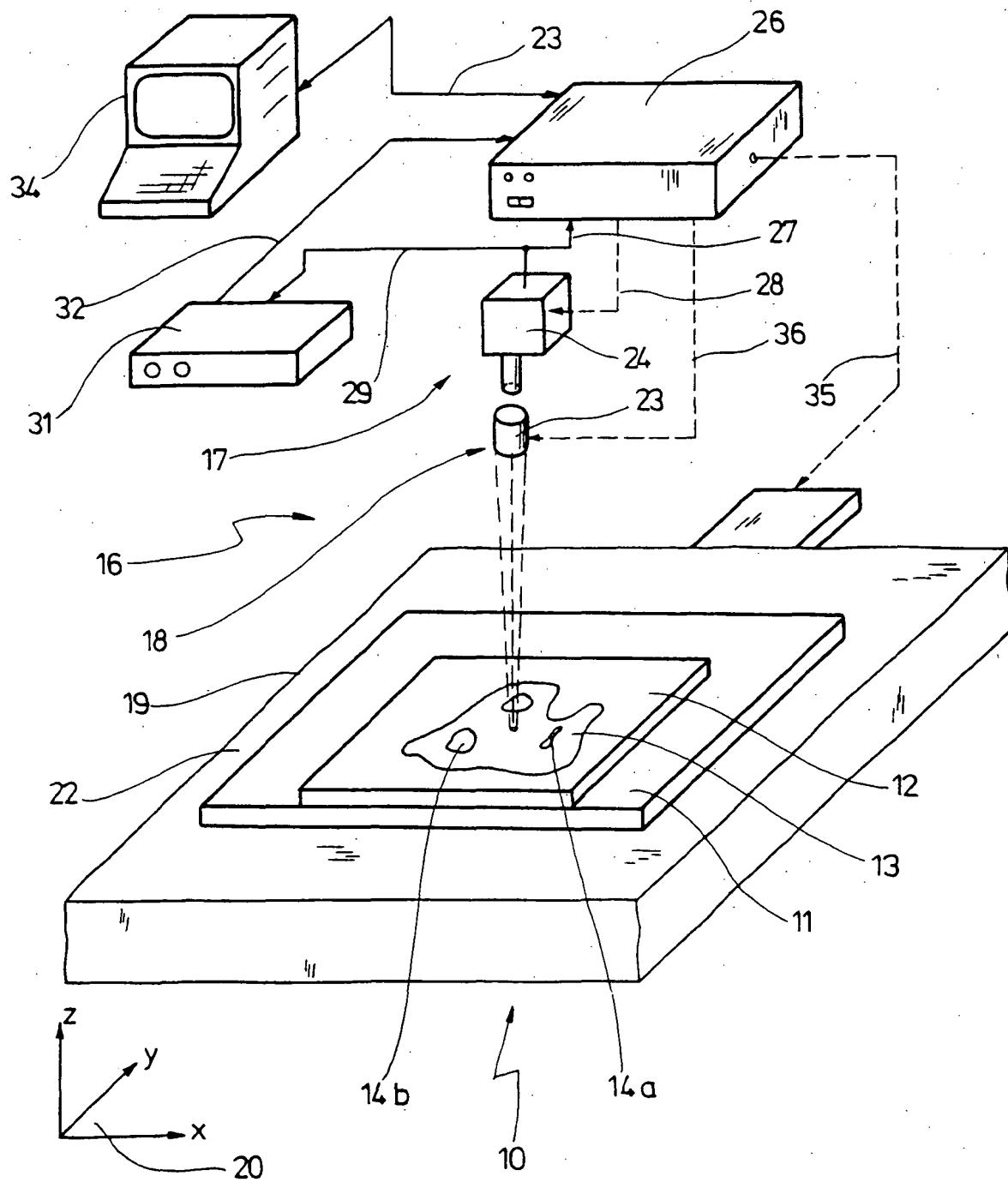


Fig. 1

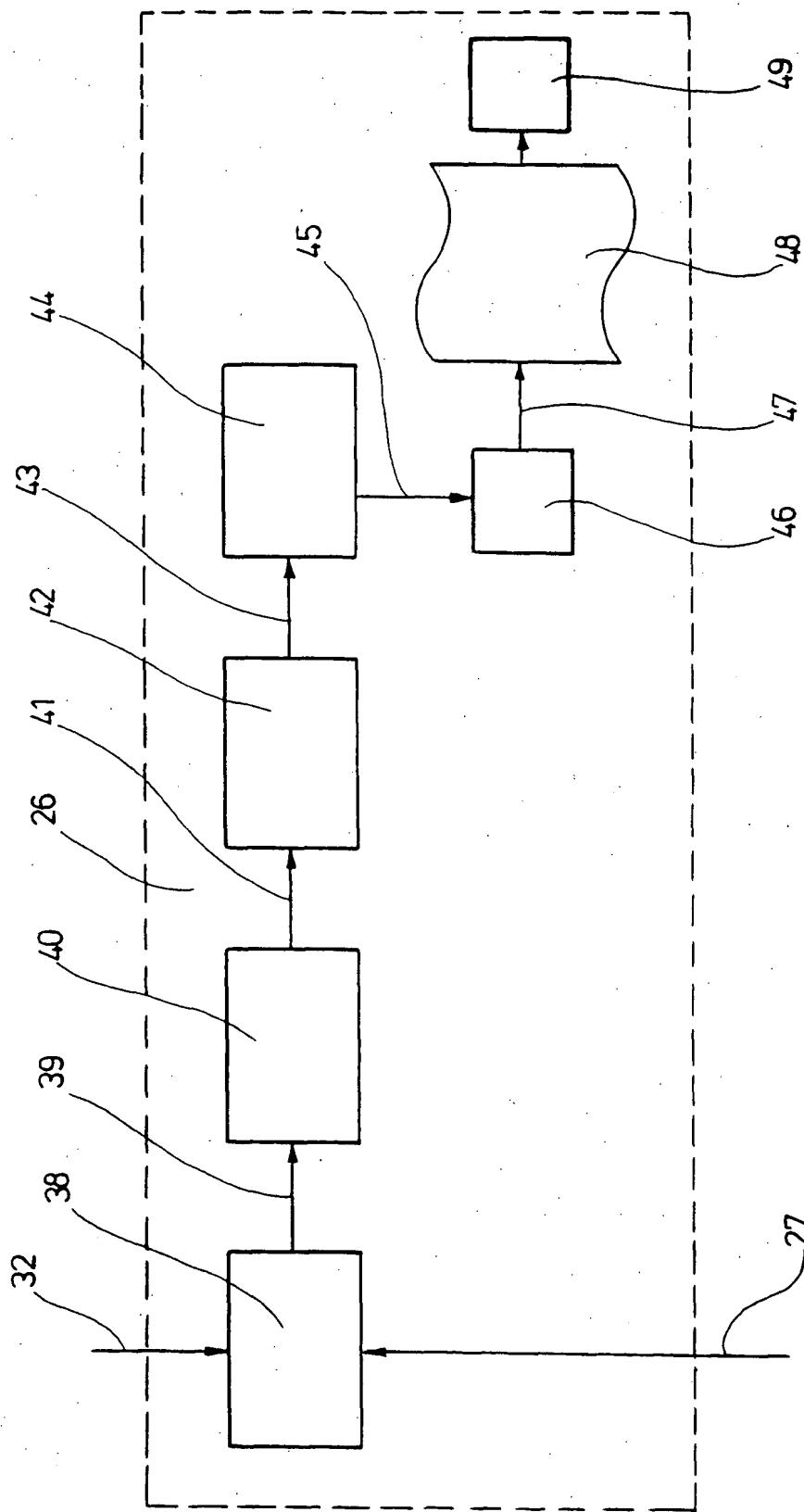


Fig. 2

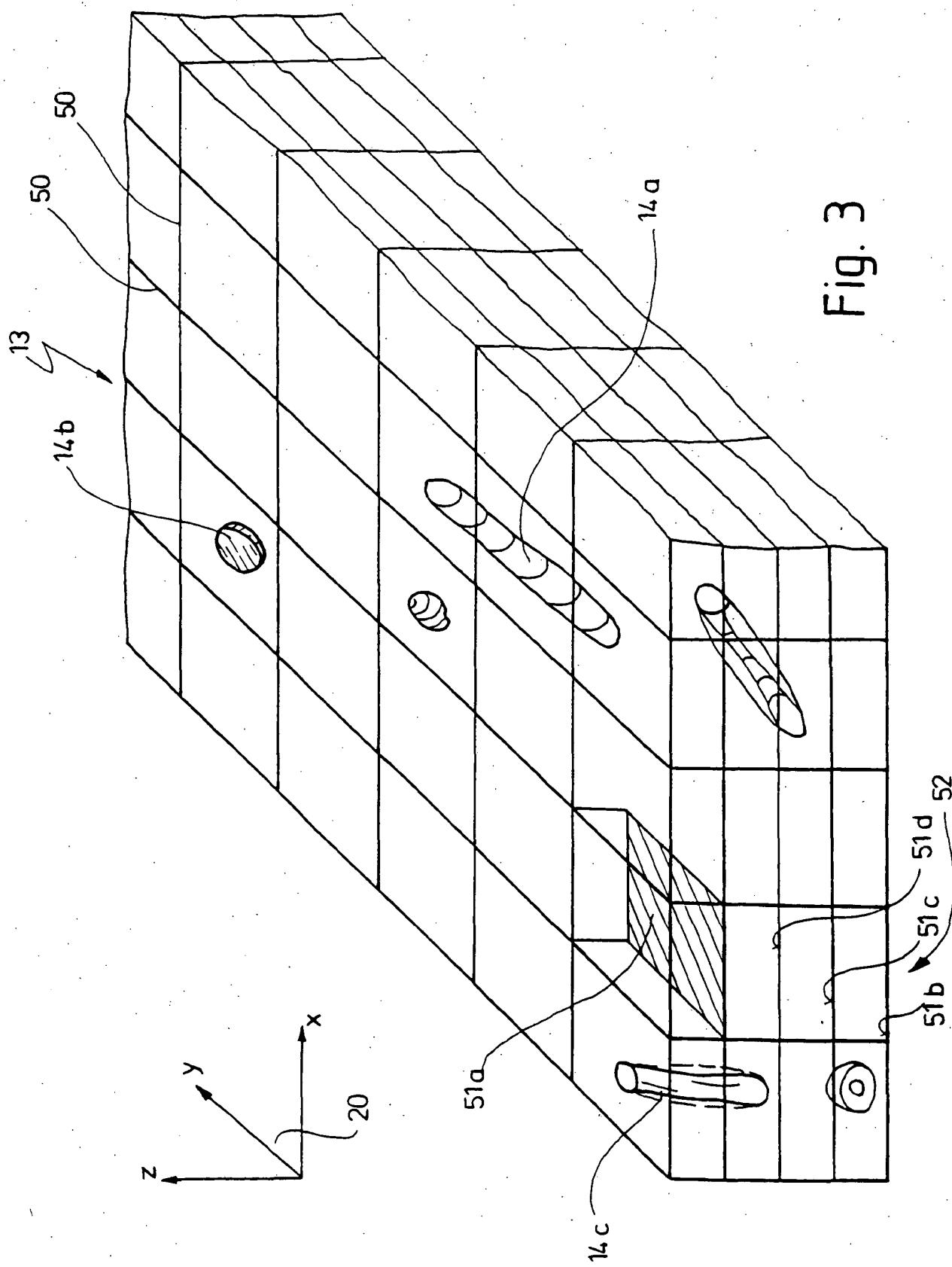


Fig. 3

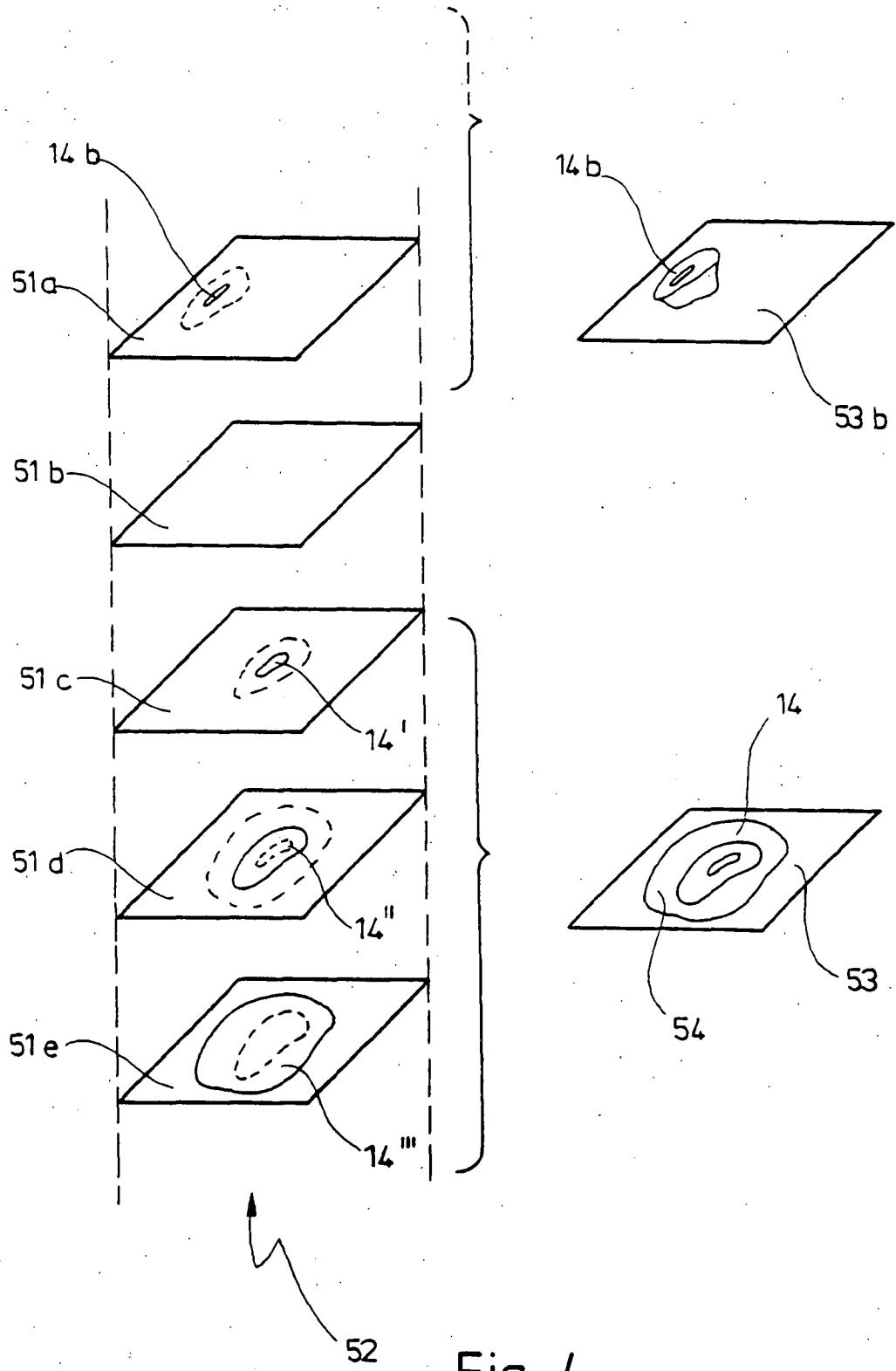


Fig. 4

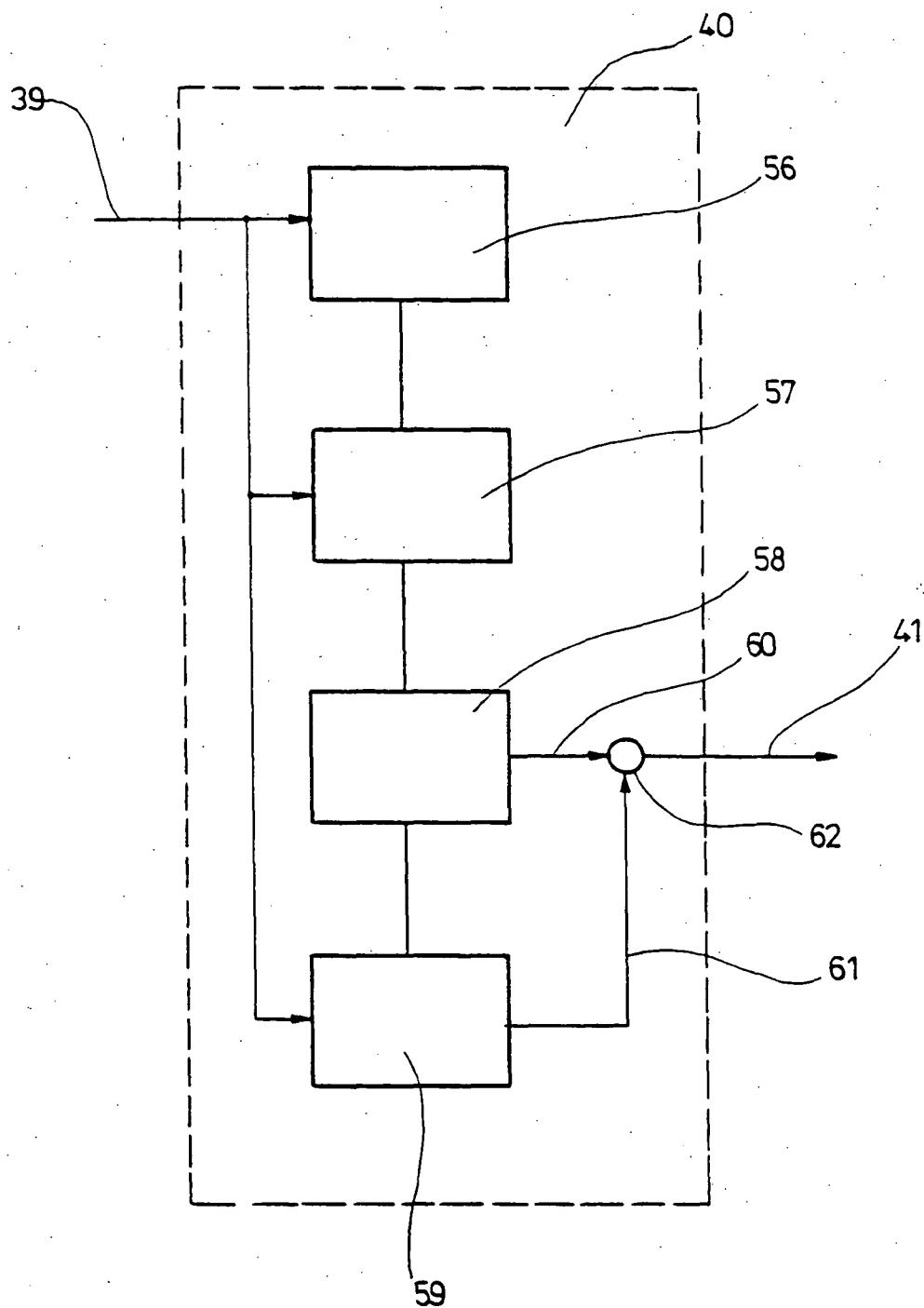


Fig. 5

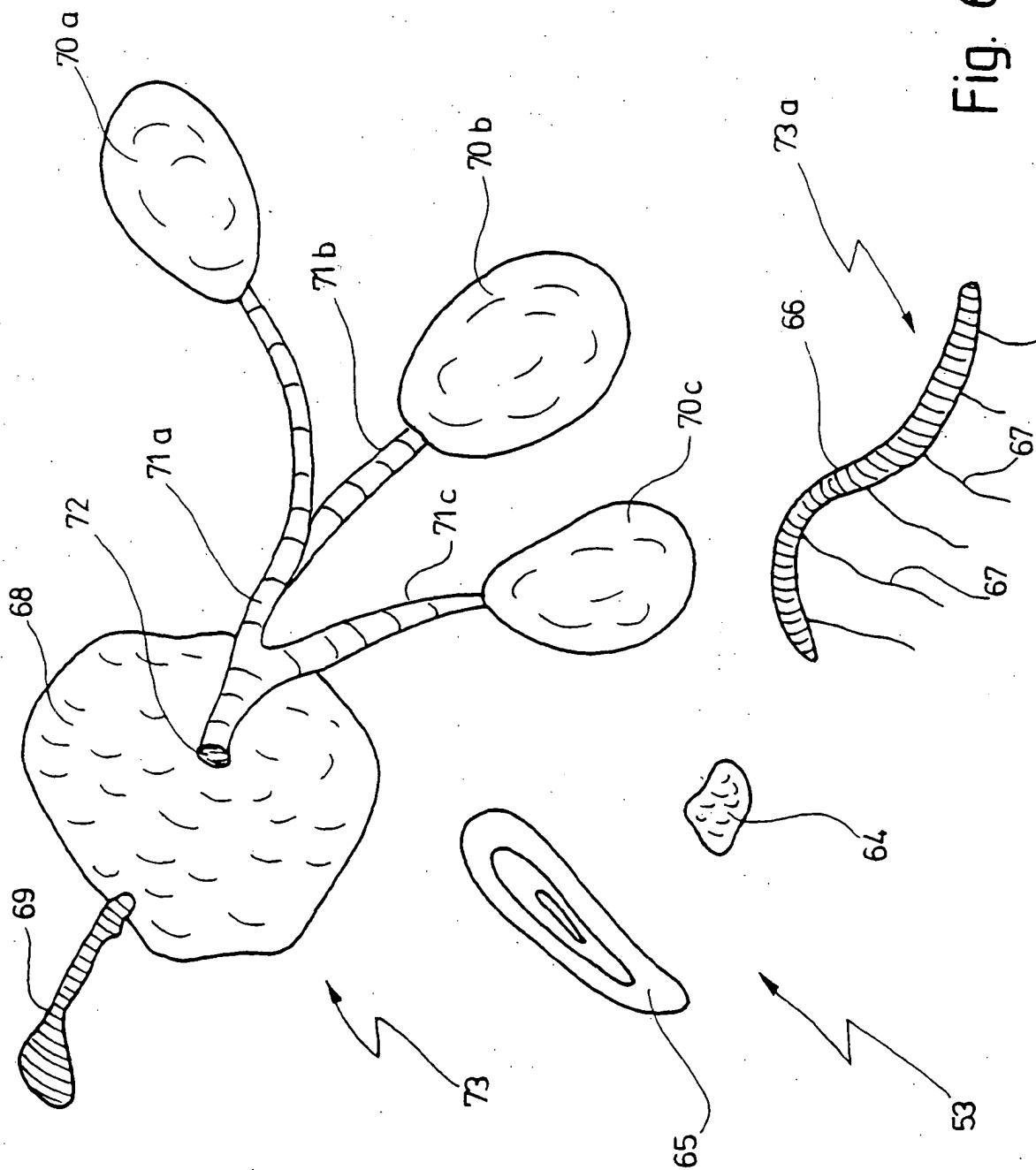


Fig. 6

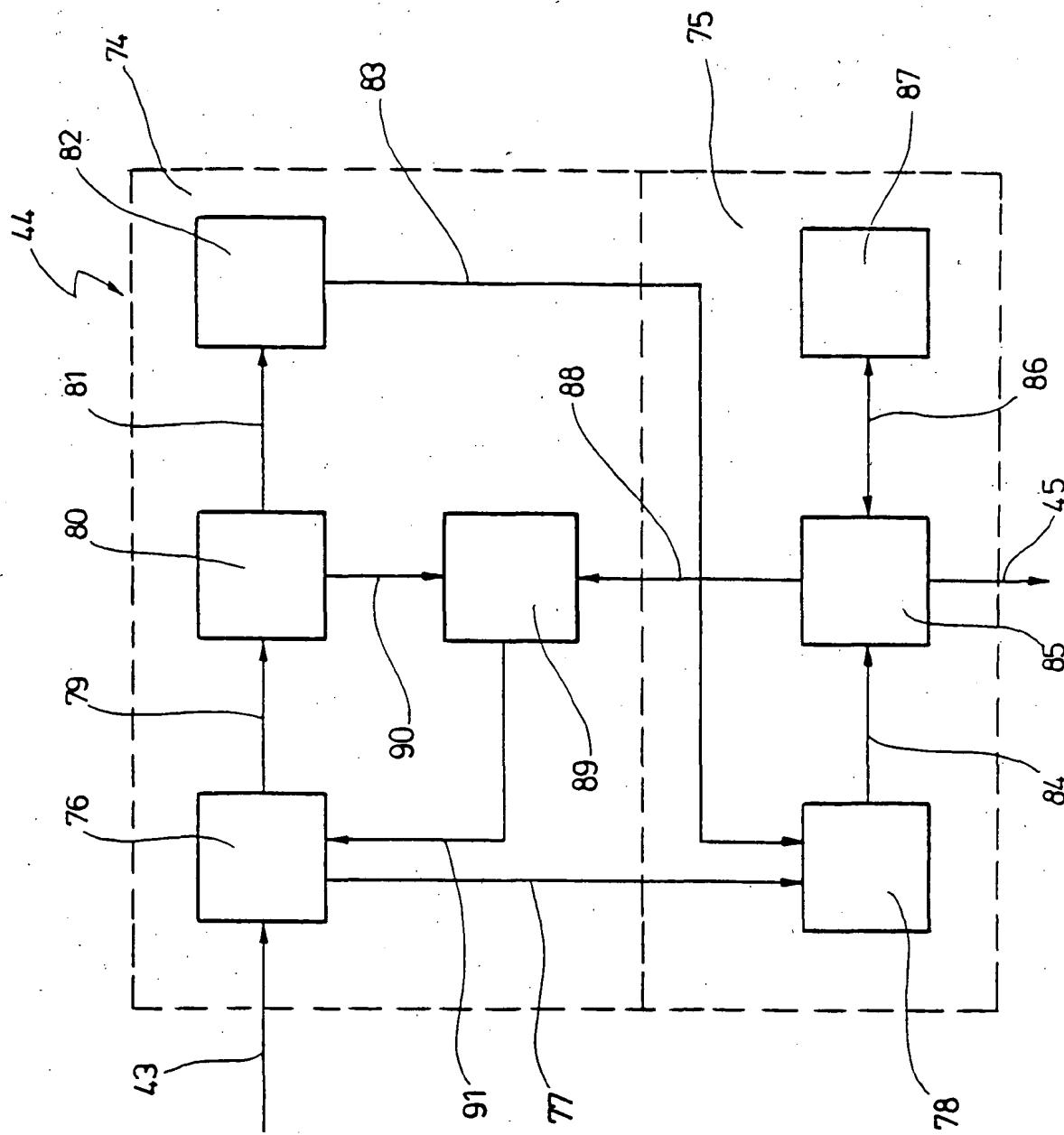


Fig. 7

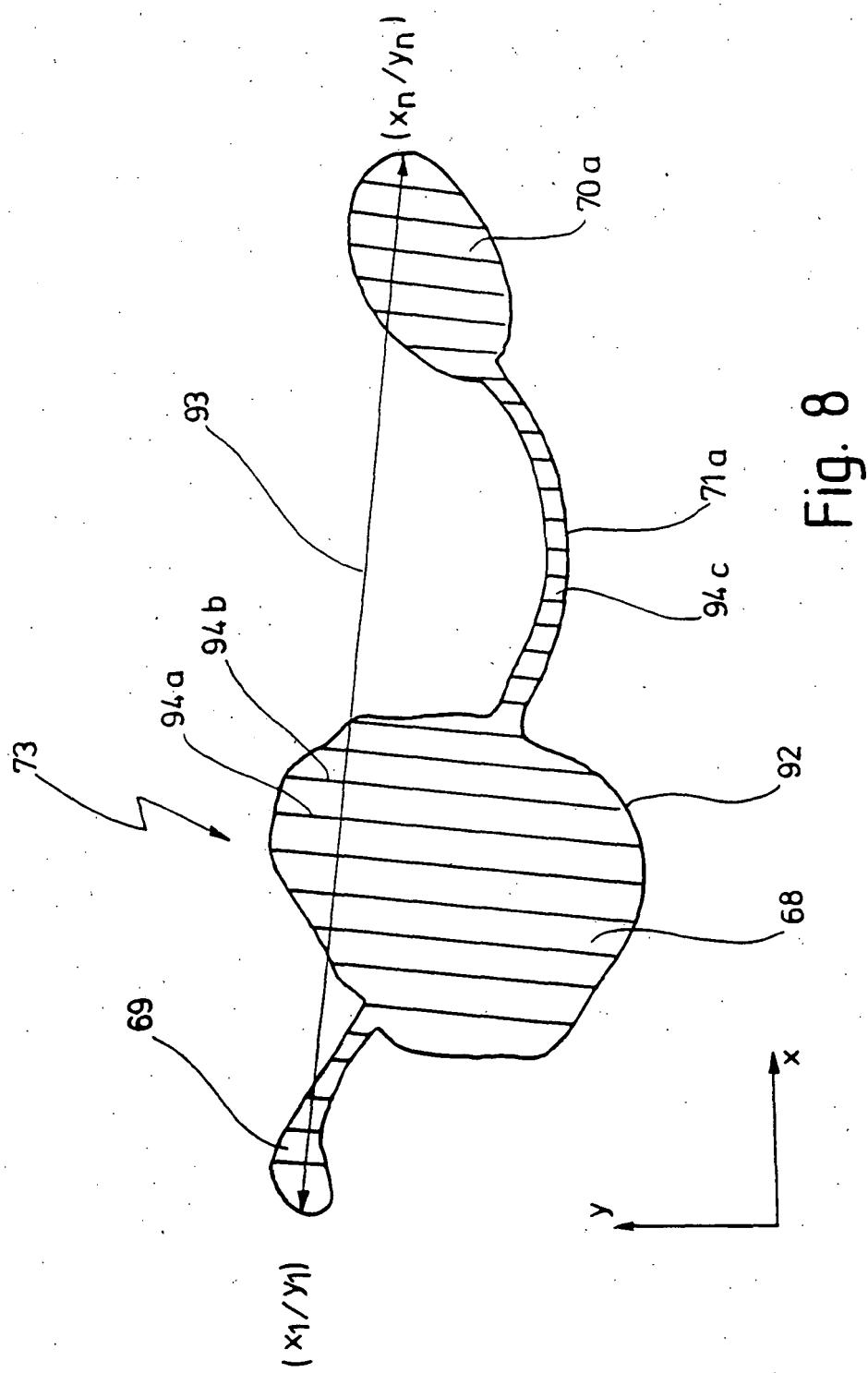


Fig. 8

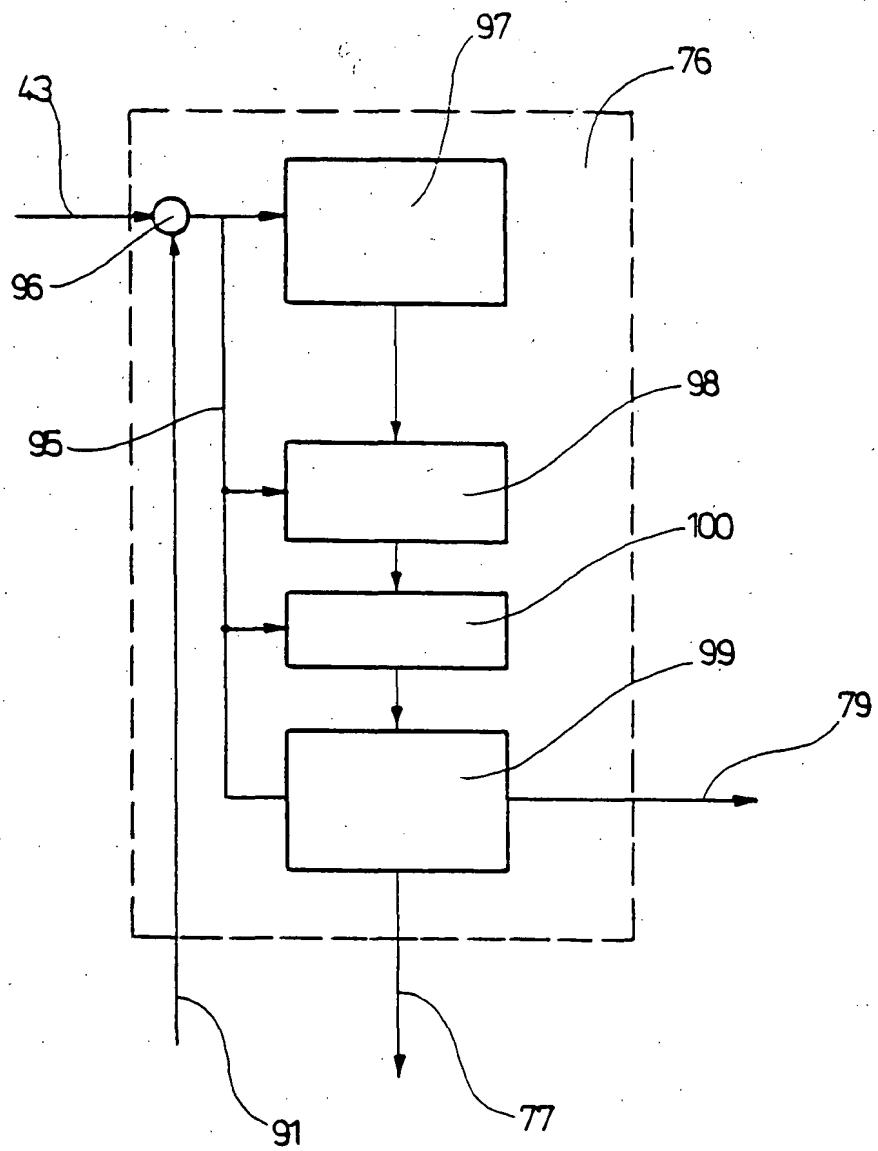


Fig. 9

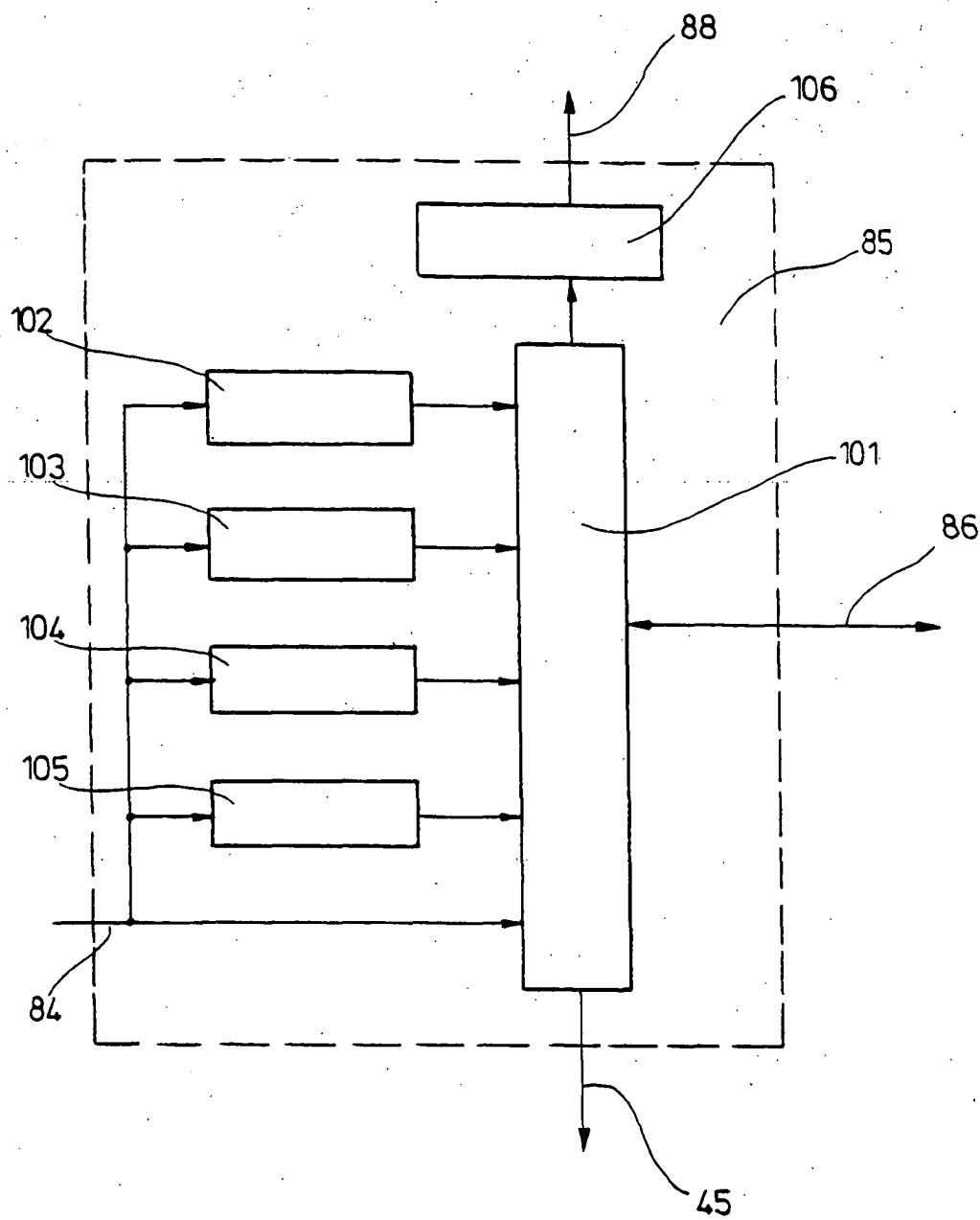


Fig. 10